

Il caso RT Valvole Srl

A cura di Giorgio Colombo³

La metodologia TRIZ può essere utilizzata in svariati ambiti, industriali e non, per affrontare problemi ai quali si intenda dare una soluzione innovativa, cioè differente dalle note o scontate. Nell'ambito industriale l'applicazione principale è nello sviluppo di nuovi prodotti ma grande rilevanza ha anche l'applicazione ai processi produttivi; questo caso ne è un esempio. Il problema viene affrontato utilizzando strumenti TRIZ "classici", evitando l'impiego di sofisticati strumenti software, per ribadire la semplicità e la fruibilità della metodologia in contesti operativi dove prevalente è la cultura ingegneristica piuttosto che informatica.

IL CASO DI STUDIO: OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DEPOSIZIONE DI MATERIALE D'APPORTO

Il caso di studio descritto nel seguito è stato sviluppato in collaborazione con la ditta RT Valvole Industriali Srl di Turbigo (Mi), produttrice di valvole per applicazioni industriali. La tipologia di prodotto considerato è una valvola a saracinesca; si tratta (*Figura 4.3.19*) di un organo di intercettazione di fluidi caratterizzato da un otturatore a paratia, con possibilità di movimento traslatorio.



Figura 4.3.19: Valvola a saracinesca.

³ Politecnico di Milano - Dipartimento di Meccanica

L'otturatore è leggermente cuneiforme e le superfici di tenuta sono le facce superiori piane di risalti toroidali, come schematicamente illustrato in fig. 2. L'otturatore è in acciaio al carbonio, con tenore circa dello 0,2 %, mentre i risalti sono in acciaio inossidabile e vengono ottenuti mediante deposizione di materiale d'apporto sulle superfici laterali dell'otturatore. Le superfici piane interessate alla tenuta vengono lavorate successivamente alle macchine utensili.

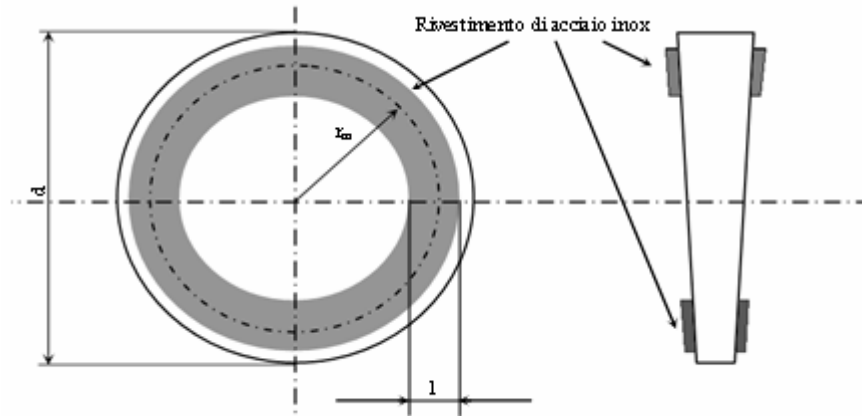


Figura 4.3.20.: Il riporto anulare in acciaio inossidabile dove sono ricavate le superfici di tenuta.

In base alle dimensioni delle tubazioni nelle quali le valvole vengono inserite, l'otturatore può avere diametro d variabile tra circa 170 mm e 850 mm. Per quanto riguarda le dimensioni dello strato depositato:

- lo spessore s è compreso tra $3.5 \text{ mm} < s < 5 \text{ mm}$;
- il raggio medio r_m della corona circolare su cui avviene il riporto varia tra $160 \text{ mm} < r_m < 830 \text{ mm}$;
- la larghezza l della corona di riporto è variabile tra $15 \text{ mm} < l < 50 \text{ mm}$;
- lo spessore t della piastra può variare tra $10 \text{ mm} < t < 70 \text{ mm}$.

Il problema proposto dall'azienda riguarda il processo di deposizione; esso avviene con la tecnica denominata *GMA* (gas metal arc welding) o *MIG/MAG* (metal inert gas welding / metal active gas welding), che rientrano nell'ambito dei processi di deposizione di tipo *gas-shielded welding*.

Nel caso specifico, l'otturatore è posto su di un supporto rotante al disopra del quale è posizionata la torcia di deposizione, dotata di movimento rettilineo alternato in direzione radiale (*Figura 4.3.21*); la combinazione dei due moti, la rotazione del supporto e la traslazione alternata della torcia,

consente alla torcia di deporre il materiale sulla superficie della corona circolare suddetta (Figura 4.3.22).

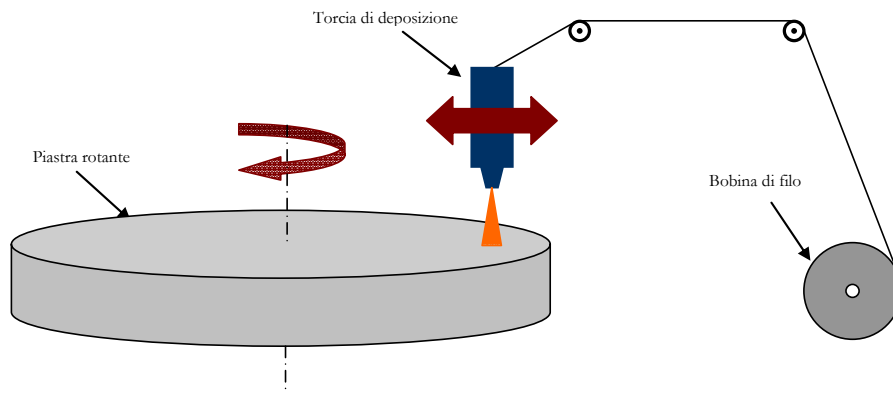


Figura 4.3.21: Il processo di deposizione

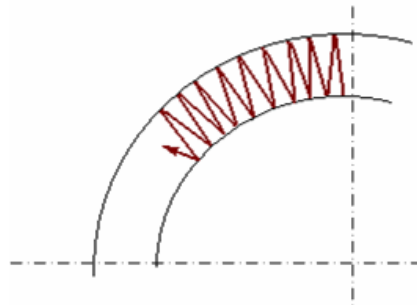


Figura 4.3.22: Percorso di deposizione

Due distinti sistemi di controllo, ognuno gestito da un PLC indipendente, consentono di regolare i movimenti della piastra circolare e della torcia. I parametri di funzionamento della torcia (tensione ed intensità di corrente) dipendono direttamente dai materiali coinvolti nel processo e quindi rappresentano una caratteristica del pezzo su cui non si può intervenire.

Il materiale di rivestimento è fornito da una bobina di filo che si svolge a velocità pressoché costante e controllabile limitatamente. Quindi, ne deriva che lo spessore del rivestimento è legato alla velocità relativa della torcia rispetto alla piastra rotante e alla velocità di alimentazione della torcia.

Il processo di deposizione riguarda il singolo otturatore e termina quando lo stesso, collocato sul supporto rotante, ha compiuto una rivoluzione completa (anzi, una rotazione di poco superiore). Nella zona d'inizio-completamento della deposizione, lo strato di materiale deposto inizialmente viene a contatto

con quello deposto alla fine del processo. Se l'otturatore è di dimensioni sufficientemente grandi, il tempo di completamento del processo è elevato, e quindi l'acciaio deposto inizialmente si raffredda sensibilmente; l'elevato gradiente termico provoca uno stato di tensioni interne che può dar luogo alla formazione di difettosità, principalmente cricche, rendendo il pezzo non conforme.

I pezzi non conformi vengono ripristinati con successive e complesse operazioni di aggiustaggio; l'azienda, per evitare onerosi test di accertamento della non conformità e per l'elevata probabilità di presenza di difetti, esegue le operazioni di ripristino su tutti gli otturatori prodotti. In azienda sono stati sperimentati alcuni accorgimenti per ovviare al problema senza ottenere risultati significativi. Nel progetto, si è applicata la metodologia TRIZ alla definizione di un processo di deposizione che eviti il problema testé citato.

L'APPROCCIO TRIZ ADOTTATO

L'approccio che il team di lavoro ha adottato è riassunto e schematizzato nella *Figura 4.3.23*. Si tratta di un approccio "classico", sia per la metodologia TRIZ, sia per un valido approccio allo sviluppo di un prodotto, o di un processo nel caso specifico, innovativo.



Figura 4.3.23: Il processo seguito

Prima di occuparsi specificamente del processo in esame, è stata effettuata un'analisi dettagliata delle tecniche di deposizione attualmente utilizzate, indagando anche il campo dei brevetti ed estendo la ricerca a settori affini quale quello della saldatura. La definizione dello stato dell'arte è un aspetto fondamentale per permettere una corretta collocazione alle soluzioni concettuali proposte nel seguito del lavoro. Si è proceduto quindi all'analisi del problema proposto, che ha richiesto una fase preliminare di acquisizione della conoscenza, condotta coordinatamente con il referente aziendale, e una successiva formalizzazione del processo secondo gli approcci dell'analisi funzionale e dell'analisi causa-effetto cosiddetta RelEvent. Successiva alla fase di analisi è la generazione delle soluzioni, per la quale ci si è avvalsi di due strumenti fondamentali della metodologia TRIZ e cioè l'individuazione delle contraddizioni del processo e dei principi inventivi che sono stati poi "tradotti" in ipotesi a livello di concept. L'ultima fase ha riguardato la validazione delle soluzioni concettuali proposte; questa attività ha portato all'individuazione delle ipotesi concettuali meritevoli di successivi studi di dettaglio. Nel seguito vengono descritti gli aspetti significativi di ciascuna di queste attività ed i principali risultati ottenuti.

FASE PRELIMINARE: STATO DELL'ARTE ED INDAGINE SUI BREVETTI

La prima attività che ha visto impegnato il team di progetto ha riguardato la definizione dello stato dell'arte in merito ai processi ed alle tecnologie di deposizione. Si è considerato anche l'ambito dei brevetti, estendendo il dominio di indagine ai processi affini di saldatura.

Nell'indagare i principali e più avanzati processi per la deposizione di metalli, si è tenuto conto dei vincoli per il caso specifico, in particolare lo spessore dello strato riportato, dell'ordine di qualche millimetro. Questo vincolo ha portato a non considerare alcune tecnologie, ad esempio **PVD** (Physical Vapor Deposition) e **CVD** (Chemical Vapor Deposition) proprio per l'entità degli spessori in gioco. Tra i processi di deposizione più avanzati si segnalano i processi di "thermal spray". Ne esistono di diverse tipologie, tuttavia il principio base è sempre lo stesso: il materiale da depositare, per lo più ridotto in polvere, viene riscaldato, atomizzato e quindi spruzzato sulla superficie da trattare. Si ricordano i processi: **flame spray**, **HVOF** (High Velocity Oxygen Fuel) thermal spray, **plasma spray**, **wire arc spray**.

A questi si è affiancato negli ultimi tempi un processo di deposizione di ultima generazione: il Direct Metal Deposition (**DMD**). Esso permette di realizzare riporti metallici tridimensionali con buona finitura superficiale e

rapidità di esecuzione. Per queste peculiarità, viene utilizzato anche in sistemi per la prototipazione rapida.

È stata effettuata una ricerca di brevetti relativi alle tecnologie appena descritte; ne sono stati individuati diversi, alcuni piuttosto recenti, in particolare alcune domande sono molto recenti e risalgono alla fine del 2005. Un primo brevetto (pat. n. **JP2002309364**) riguarda la tecnologia thermal spray, ottimizzata per ottenere risultati soddisfacenti a temperature notevolmente inferiori a quella di fusione del materiale che costituisce il rivestimento. Il secondo (pat. n. **US5935458**) riguarda un aspetto particolare di tutte le tecnologie thermal spray che fanno uso di materiale d'apporto sotto forma di filo; viene descritto un metodo che agevola il movimento della torcia senza che l'alimentazione del filo dalla bobina sia discontinua. Due ulteriori brevetti (pat. n. **US2005224209**), (pat. n. **US6472029**) riguardano applicazioni del metodo di deposizione DMD

Sono stati inoltre analizzati processi di saldatura che presentano problematiche di processo analoghe a quelle evidenziate dall'azienda proponente. In particolare, si sono investigate possibili tecniche per evitare la formazione di cricche di saldatura dovute al repentino raffreddamento, che agiscono sul processo di deposizione del materiale.

La ricerca ha fatto emergere due brevetti: il primo (pat. n. **US4381660**), più datato, propone un metodo di saldatura basato sulle trasformazioni termiche dei materiali saldati. Il secondo (pat. n. **US2005 0252888A1**), più recente, che presenta interessanti similitudini con il metodo di deposizione adottato da RT Valvole.

L'attività effettuata ha permesso di verificare quanto il settore tecnologico sia in costante evoluzione ed il notevole interesse e contributo dei soggetti, enti di ricerca ed industrie, che operano nel settore.

ANALISI E FORMALIZZAZIONE DEL PROBLEMA

Questa attività ha lo scopo di definire un modello formale del processo in esame onde permettere l'individuazione delle contraddizioni, che costituiscono uno degli aspetti più significativi della metodologia TRIZ. L'individuazione delle contraddizioni consente l'utilizzo della matrice delle contraddizioni, uno degli strumenti più potenti della metodologia, che porta ad individuare, tra i principi inventivi proposti dalla metodologia, i più opportuni per il caso specifico. L'analisi del problema ha anzitutto richiesto un'attività di acquisizione della conoscenza in merito all'evoluzione del processo ed all'influenza dei parametri funzionali e tecnologici; l'indagine è

stata condotta in collaborazione con il referente aziendale, esperto del settore. È seguita l'attività di formalizzazione della conoscenza acquisita con lo scopo di costruire un modello del processo ad un elevato livello di astrazione dal quale ricavare indicazioni sulle incongruenze o contraddizioni insite nello stesso. Per la formalizzazione, si sono utilizzati due strumenti, uno più tradizionale, e cioè l'analisi funzionale, ed uno più innovativo, la cosiddetta modellazione ad eventi (RelEvent diagram).

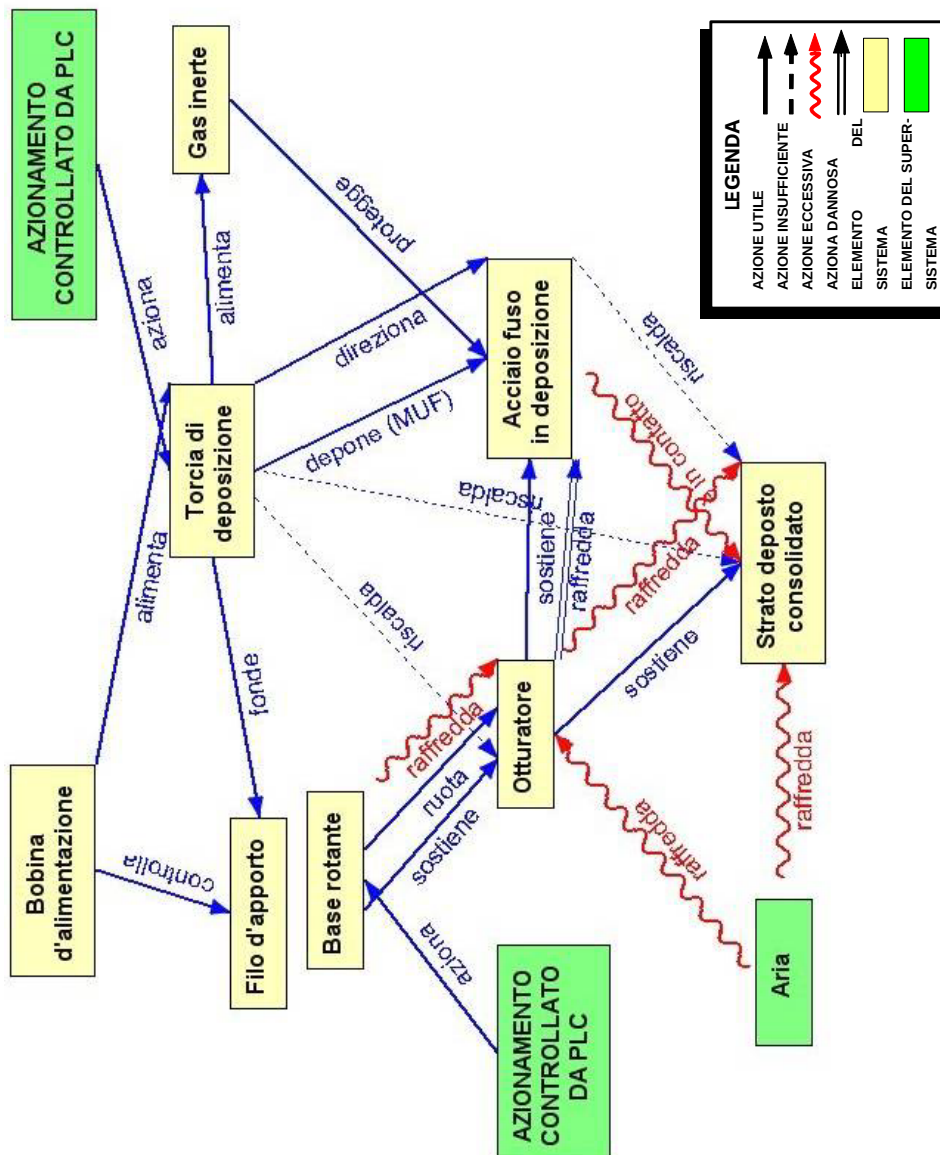
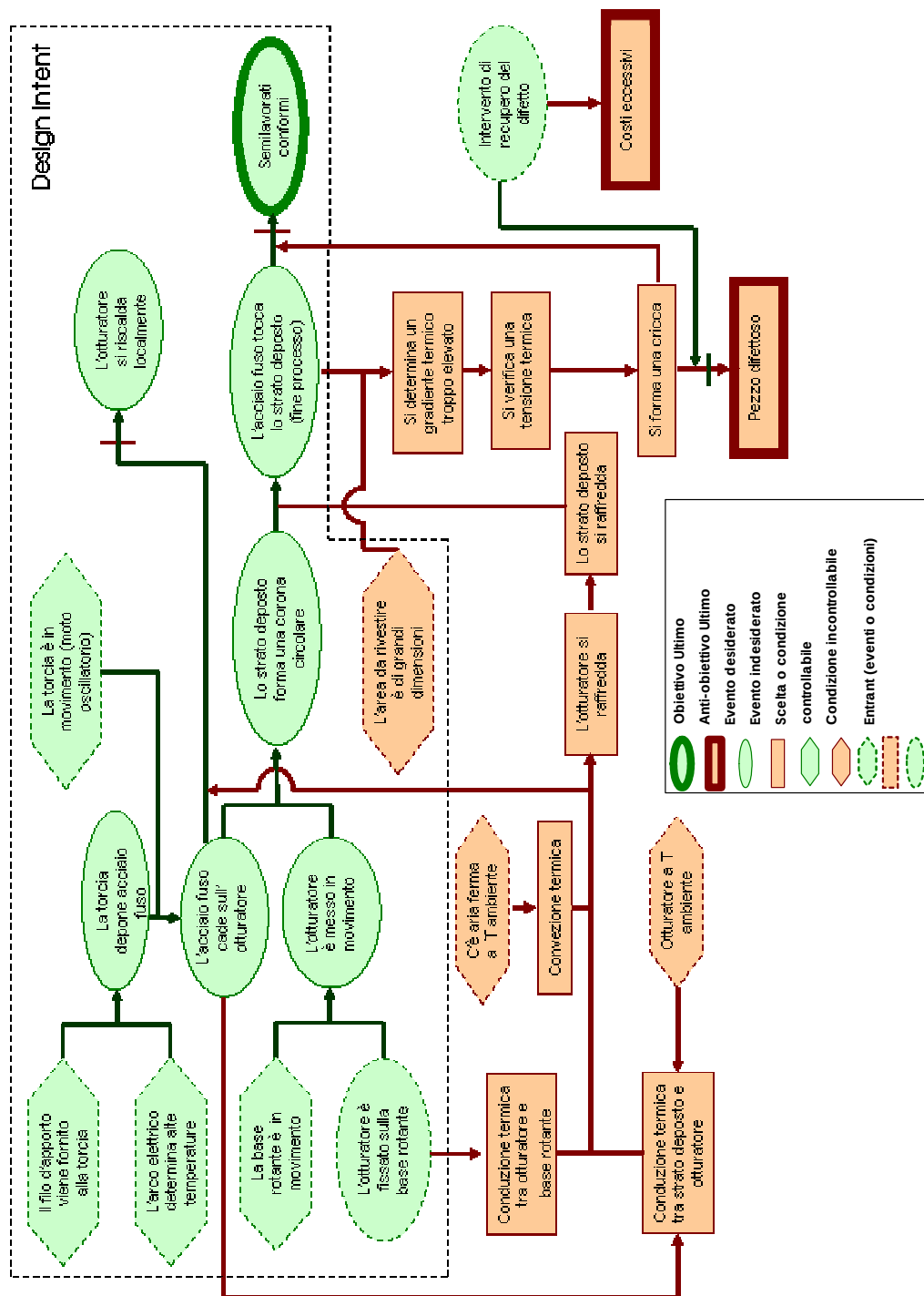


Figura 4.3.24: Analisi funzionale del processo di deposizione, nell'istante in cui si completa la deposizione di materiale



La *Figura 4.3.24* propone il diagramma funzionale nell'istante in cui si sta completando il processo di deposizione del materiale di riporto. Nel diagramma funzionale sono rappresentati gli elementi che intervengono nel processo di deposizione e le funzioni, utili e dannose, che essi svolgono o subiscono. La *Figura 4.3.25* riporta il diagramma di tipo causa-effetto detto RelEvent; si tratta di una tecnica di formalizzazione proposta da G. Yezerki nella General Theory of Innovation. Lo scopo dei due diagrammi è quello di fornire una fotografia L'analisi funzionale e la modellazione ad eventi evidenziano la condizione critica per il sistema: si registra un gradiente termico elevato al momento in cui si completa la deposizione del materiale

GENERAZIONE DI PROPOSTE SOLUTIVE

Dopo aver acquisito una completa conoscenza del processo da analizzare e dopo averne effettuato la formalizzazione, si è proceduto alla fase di generazione di soluzioni inventive. Si è utilizzato l'approccio basato sulla matrice delle contraddizioni; per tale fine, l'analisi funzionale è stata utilizzata per estrarre le contraddizioni tecniche insite nel processo. La *Figura 4.3.25* illustra una parte del diagramma funzionale e fornisce indicazioni per individuare contraddizioni tecniche presenti nel processo.



Figura 4.3.25: Azioni tra strato deposto e materiale fuso in deposizione, con i relativi parametri.

La contraddizione tecnica che si evince dal particolare del diagramma funzionale è la seguente: la presenza di tensioni residue (object affected harmful effect 30) è in contrapposizione con l'entità del gradiente termico (temperature 17). L'analisi del diagramma funzionale permette di estrarre diverse contraddizioni tecniche; la matrice delle contraddizioni evidenzia per ciascuna di esse i principi inventivi previsti dalla metodologia TRIZ. Ogni principio inventivo viene poi esplicitato in un'ipotesi concettuale. Il diagramma di *Figura 4.3.26* sintetizza tutte le ipotesi di miglioramento del

processo di deposizione per evitare la formazione di difetti che sono state prodotte in questo progetto.

(commentare un paio delle ipotesi più significative).

Le ipotesi di innovazione del processo, in un progetto quale quello nel quale ha avuto luogo e svolgimento il caso qui discusso, devono essere validate alla luce dei vincoli aziendali, tecnologici, economici per verificarne la sviluppabilità. In questa fase è essenziale l'intervento del referente aziendale, che meglio di chiunque conosce il campo d'azione dove l'innovazione deve svilupparsi. Altresì, può essere utile una ricerca ed analisi di brevetti per verificare la notorietà di determinate ipotesi solutive.

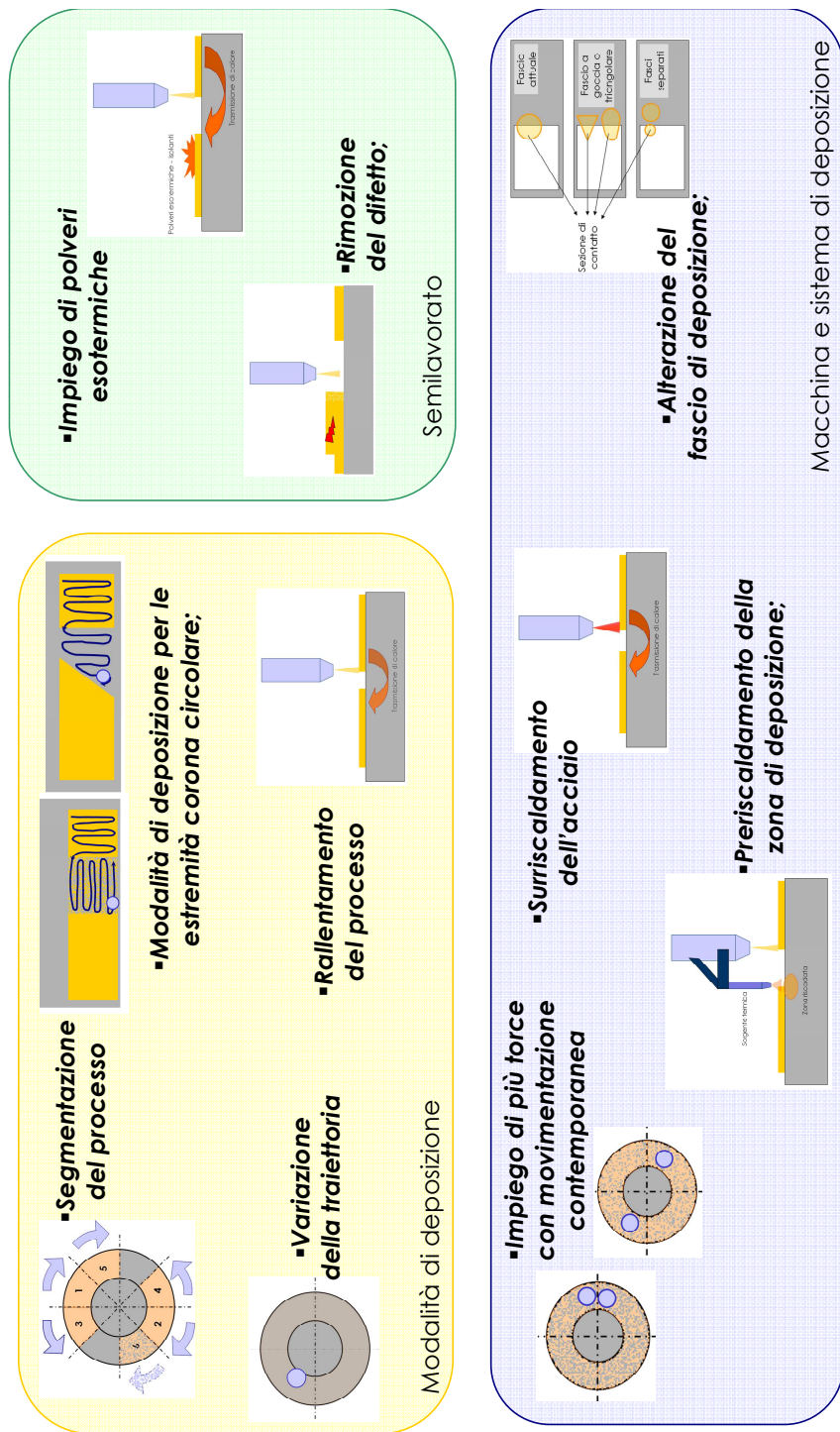


Figura 4.3.26: Sintesi delle proposte derivate da contraddizioni e principi inventivi.

CONCLUSIONI

La memoria tratta il caso del processo di deposizione di materiale necessario per ricavare le superfici di tenuta dell'otturatore di una famiglia di valvole a saracinesca. Per cercare di ovviare al problema della formazione di difetti nella zona dove si completa la deposizione a causa dell'elevato gradiente termico, si è applicata la metodologia TRIZ, secondo un approccio tradizionale basato sull'analisi funzionale, l'individuazione di contraddizioni fisiche, l'utilizzo della matrice delle contraddizioni ed i principi inventivi. Sono state dedotte un buon numero di ipotesi di innovazione di processo, sintetizzate in proposte concettuali. La validazione delle proposte è stata effettuata dagli esperti aziendali che hanno individuato quelle meritevoli di affinamento successivo; esse non vengono evidenziate per motivi di riservatezza.

Si sottolinea un ulteriore risultato conseguibile nell'applicare la metodologia, anche se indiretto; la fase di formalizzazione richiede di rendere esplicite un insieme di conoscenze che altrimenti rimangono a livello implicito, patrimonio personale di alcuni esperti e non aziendale. Alle soglie della cosiddetta "società della conoscenza", anche questo aspetto rimarca l'importanza del ruolo che la metodologia TRIZ può avere nelle imprese.