



Heat Treatment and Surface Engineering in Automotive Applications
2nd International Conference - Riva Del Garda, 20-22 June 2005

COST REDUCTION NELL'INDUSTRIA MECCANICA

**COME SFRUTTARE I BENEFICI
DELL'INNOVAZIONE
NEI TRATTAMENTI TERMICI**

Gilberto Pasello - Pasello Trattamenti Termici srl
Enrico Costa, Elena Ferri - CERMET scrI
Valerio Francia - PWF Technics sas

www.pasello.com



COST REDUCTION NELL'INDUSTRIA MECCANICA. COME SFRUTTARE I BENEFICI DELL'INNOVAZIONE NEI TRATTAMENTI TERMICI

Gilberto Pasello - Pasello Trattamenti Termici Srl, Calderara di Reno - BO

Enrico Costa, Elena Ferri – CERMET S.cons.r.l. - Sezione ISML, Cadriano di Granarolo - BO

Valerio Francia - PWF Technics, Bologna

ABSTRACT

Da alcuni anni tutti i sistemi produttivi sono attraversati dalla necessità di mutare le caratteristiche organizzative, dei prodotti e del contenuto tecnologico in generale, per fronteggiare la dinamica di continuo cambiamento dei mercati, imposta dalla globalizzazione. L'affacciarsi sullo scenario competitivo dei produttori dei Paesi emergenti ha imposto di adottare un approccio maggiormente spinto verso l'innovazione, per ricercare vantaggi competitivi su nuovi fronti.

In quest'ottica si inserisce lo studio del miglioramento dal punto di vista della cost reduction di organi meccanici qui presentato.

Attraverso la presentazione di alcuni casi concreti, la memoria fornisce una descrizione dell'approccio metodologico adottato, e riporta il confronto tra le caratteristiche ottenute con processi di cementazione convenzionali e in bassa pressione, e l'analisi dei costi, mettendo in evidenza che le tecnologie evolute di trattamento termico possono apportare anche miglioramenti significativi da punto di vista della cost reduction, se i cicli di fabbricazione vengono adeguatamente modificati per sfruttarne i benefici. Nessun miglioramento sostanziale è invece da attendersi dal punto di vista della cost reduction, se l'approccio è orientato solamente alla mera sostituzione del tipo di tecnologia di trattamento termico.

1.0 PREMESSA

Una delle principali forme di attuazione dell'innovazione nei processi industriali è rappresentata dallo sviluppo di tecnologie per conseguire una significativa riduzione dei costi di fabbricazione.

Il vantaggio competitivo che deriva dal fatto di produrre con costi inferiori, mantenendo livelli di qualità accettabili per il mercato, è talmente rilevante che ingenti risorse vengono destinate anche ad azioni che promettono di ottenere riduzioni di costo anche solo per frazioni di punto percentuale per pezzo prodotto.

Le aree dove si concentrano gli sforzi maggiori riguardano la messa a punto di nuovi materiali funzionalizzati per l'applicazione, di processi di formatura ad elevata produttività/bassa incidenza degli scarti, e di tecnologie di finitura superficiale con caratteristiche funzionali ed estetiche premianti per l'applicazione.

Stranamente, il settore dei trattamenti termici, intendendo con questa dizione i processi di trasformazione strutturale massiva e termochimica, appare sostanzialmente estraneo a questa tendenza: agli operatori di trattamento termico viene costantemente richiesta una mera riduzione dei costi di esecuzione, eventualmente in abbinamento con lo svolgimento di alcune operazioni che possono semplificare le successive operazioni di assemblaggio.

A questa tendenza alcuni operatori hanno reagito, attraverso investimenti nell'impiantistica miranti a ridurre il costo unitario di produzione (ovvero il costo per unità di massa di materiale trattato), e con un sostanziale consolidamento della capacità operativa, ancorata tuttavia ad un sapiente esercizio di processi convenzionali. In realtà, il progresso tecnologico nel campo dei trattamenti di superficie permette di esplorare scelte più audaci, in grado di modificare in modo significativo i cicli di fabbricazione dei prodotti, con benefici sulla matrice dei costi sensibilmente maggiori rispetto a quelli ottenibili semplicemente attraverso una riduzione delle tariffe di trattamento termico.

Misurare in modo oggettivo quali sono tali benefici, e a che livello si collocano nel ciclo di fabbricazione, rappresenta il tema di questo lavoro.

Lo studio è stato infatti indirizzato a valutare/quantificare i benefici derivanti dall'adozione di processi di carbocementazione in bassa pressione, seguito da tempra in gas, in sostituzione dei processi convenzionali in atmosfera carburante. Se, infatti, il processo in bassa pressione può conseguire vantaggi per effetto della minore durata di esecuzione, della maggiore uniformità di risposta, e della virtuale eliminazione dello strato di ossidazione superficiale, occorre rilevare che i costi di trattamento con tale processo risultano sensibilmente superiori a quelli delle tecnologie convenzionali, cosa che in prima battuta ne potrebbe scongiurare di fatto l'utilizzo.

Il presupposto di queste analisi è inoltre che i requisiti metallurgici che definiscono le specifiche per garantire la prestazionalità dei componenti possano essere soddisfatte anche con le tecnologie innovative, per evitare onerose operazioni di riprogettazione e/o riconfigurazione complessiva dei sistemi in cui vengono posti in esercizio i componenti trattati.

2.0 PIANO DI LAVORO

In collaborazione con aziende utilizzatrici di ruote dentate, interessate a valutare i benefici prestazionali derivanti dall'adozione di cicli di carbocementazione in bassa pressione, sono state individuate due tipologie di componenti, critici per il livello di funzionalità dei sistemi su cui sono installati, dei quali sono state fabbricate versioni standard, cioè con l'attuale ciclo di trattamento termico in atmosfera carburante, e versioni prototipali, in cui si è impiegato il ciclo termico in bassa pressione.

I componenti sono stati sottoposti a rilievi dimensionali e verifiche metallurgiche, per rilevare la conformità con le specifiche predefinite, e per stimare le modifiche che potevano essere introdotte al ciclo di lavorazione, in funzione delle caratteristiche premianti ottenibili con i processi termici in bassa pressione.

Il costo complessivo di fabbricazione per il ciclo standard e per quello prototipale è stato quindi scomposto, in percentuale, nelle varie fasi di lavoro, e ne è stato effettuato il confronto.

3.0 ANALISI DEI CICLI DI FABBRICAZIONE

3.1 TRASMISSIONE CARICO

Un componente per trasmissione carico (Figura 2) viene realizzato per deformazione plastica a caldo in acciaio del tipo 17 NiCrMo 6-4 (EN 10084), con successivo trattamento termico di carbocementazione, tempra e rinvenimento, richiedendo spessore efficace di indurimento compreso tra $1,2 \div 1,4$ mm, durezza superficiale compresa tra $60 \div 62$ HRC, e durezza a nucleo compresa tra $30 \div 37$ HRC.

A valle del ciclo termico, la parte dentata del particolare viene sottoposta a lavorazione di rettifica.

Per valutare le opportunità di semplificazione del ciclo di fabbricazione, sono stati realizzati due lotti di 30 pezzi ciascuno, ricavati dal medesimo lotto di fornitura di stampati.

I due lotti sono stati diversificati in funzione del ciclo industriale di trattamento termico: un lotto è stato sottoposto all'attuale prassi di fabbricazione, che prevede un trattamento di carbocementazione in atmosfera carburante con tempra in olio (AT), mentre l'altro è stato trattato in bassa pressione con tempra in gas (BP).

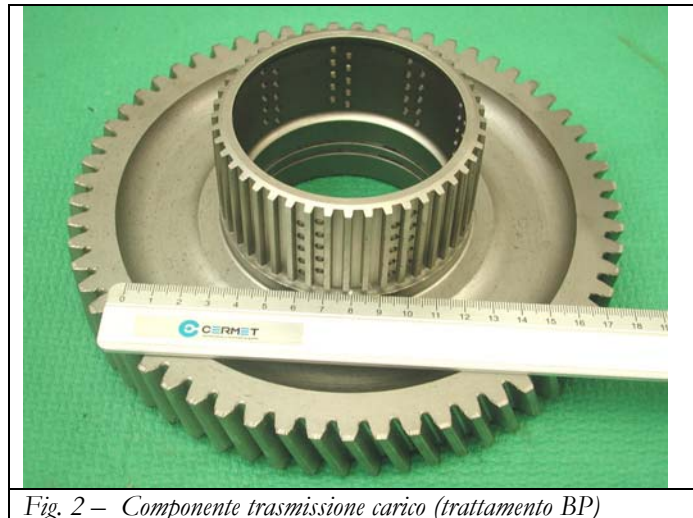


Fig. 2 – Componente trasmissione carico (trattamento BP)

Le fasi di lavorazione meccanica preliminare e di finitura sono state svolte presso i medesimi fornitori.

Le caratterizzazioni metallografiche degli esiti dei trattamenti, effettuate per mezzo di osservazioni in microscopia ottica, hanno mostrato, per i pezzi con trattamento AT, in superficie una struttura martensitica fine, con tracce di globuli di cementite e di austenite residua, con presenza di ossidazione intergranulare per una profondità massima di circa 15 μm (Figura 3), e una struttura a nucleo formata prevalentemente da martensite e bainite (Figura 4).

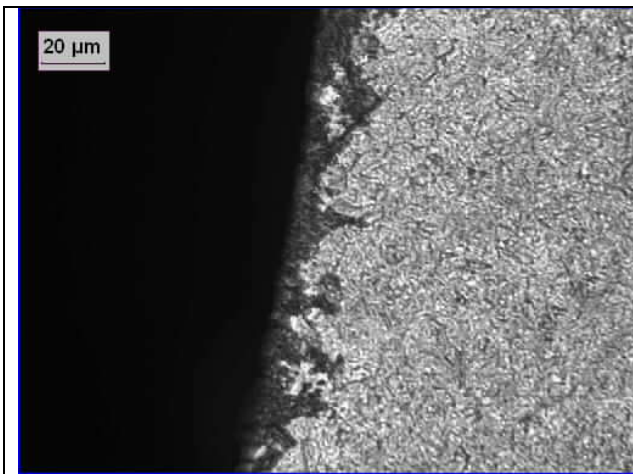


Fig. 3 – 500x – Particolare con trattamento AT - Struttura al bordo



Fig. 4 – 500x – Particolare con trattamento AT - Struttura a nucleo

L'analisi microstrutturale sui pezzi con trattamento BP ha evidenziato nello strato superficiale la presenza di una struttura martensitica tendenzialmente aghiforme, con tracce di austenite residua (Figura 5), con sostanziale assenza di ossidazione intergranulare; a nucleo la struttura risulta costituita prevalentemente da bainite (Figura 6).

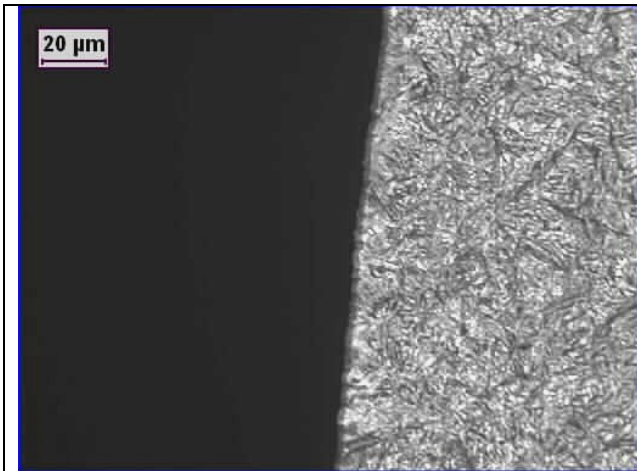


Fig. 5 – 500x – Particolare con trattamento BP - Struttura al bordo



Fig. 6 – 500x – Particolare con trattamento BP - Struttura a nucleo

Le prove di durezza Rockwell C e i profili di durezza, realizzati secondo norma UNI 11153-1, hanno messo in evidenza caratteristiche conformi a specifica per entrambi i cicli, con valori di durezza a nucleo e di spessore efficace di indurimento maggiori nel caso dei pezzi con ciclo AT.

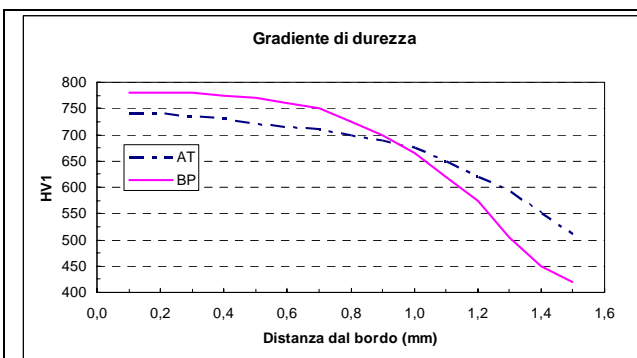


Fig. 7 – Spessori efficaci di indurimento ottenuti con i due trattamenti (fianco dente)

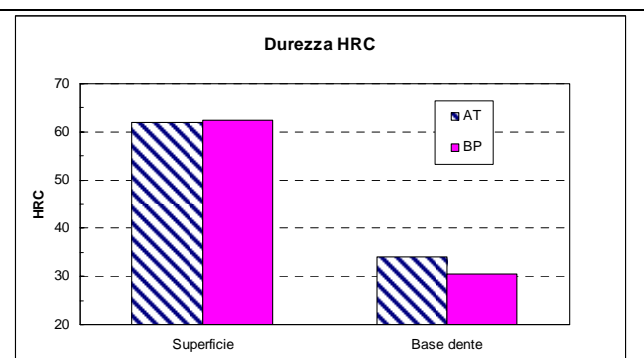


Fig. 8 – Durezza in superficie e a nucleo ottenute con i due trattamenti (dentatura)

I rilievi dimensionali degli errori di forma dopo trattamento termico si sono concentrati sulla parte dentata, che risulta più critica dal punto di vista dell'accettabilità del componente. Nei diagrammi riportati nelle figure da 9 a 12 sono mostrate le distribuzioni degli errori di profilo riferiti ai parametri di forma F_α e F_β . Con la dicitura USL (Upper Specification Limit) viene mostrato il limite di tolleranza a pezzo finito.

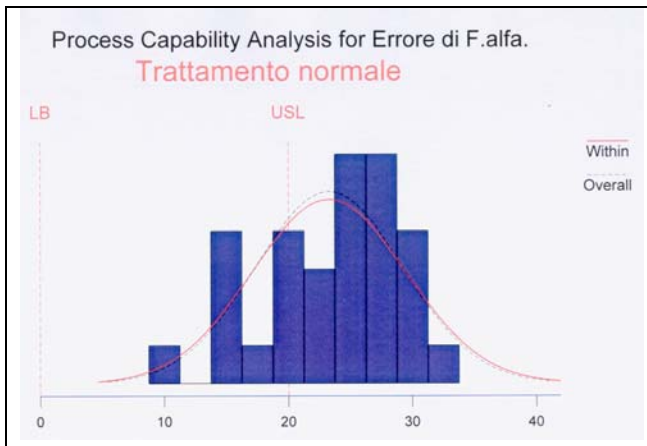


Fig. 9 – Trattamento AT – Distribuzione errore di forma F_α – Standard dev. 6,0

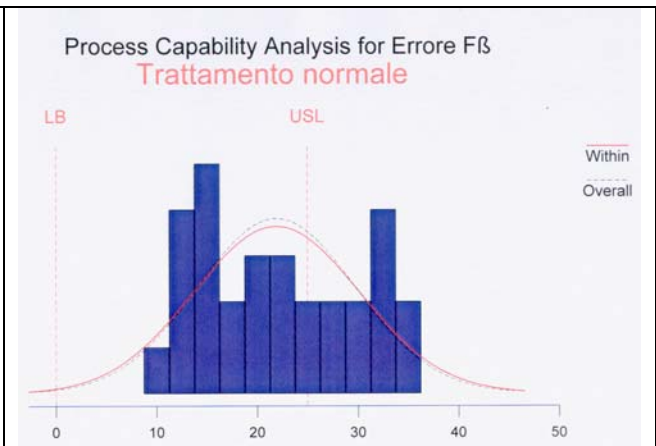


Fig. 10 – Trattamento AT – Distribuzione errore di forma F_β – Standard dev. 7,9

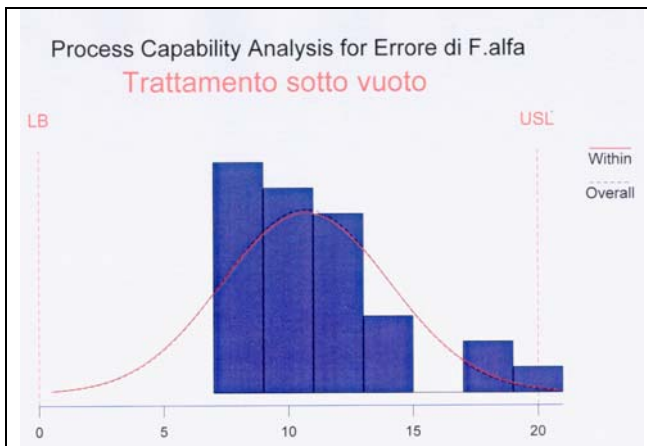


Fig. 11 – Trattamento BP – Distribuzione errore di forma F_α – Standard dev. 3,3

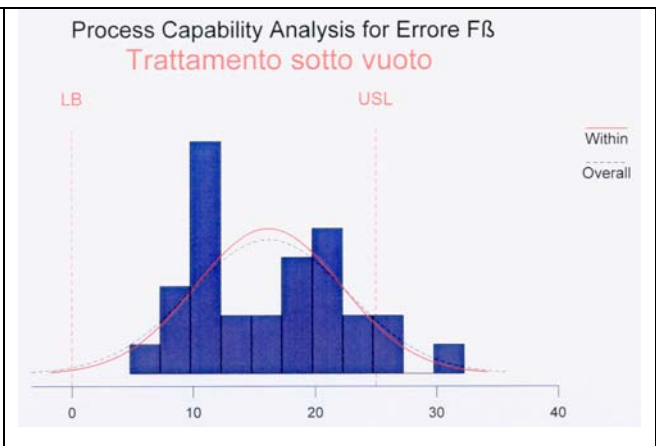


Fig. 12 – Trattamento BP – Distribuzione errore di forma F_β – Standard dev. 6,5

Le considerazioni svolte con il manufacturing dell'azienda utilizzatrice hanno portato alle valutazioni relative ai costi di fabbricazione riferite in particolare alle fasi di finitura, essendo ritenute le fasi di lavoro precedenti all'esecuzione del trattamento termico sostanzialmente invariati per entrambe le soluzioni.

Il prospetto 1 riporta la sintesi dei dati ottenuti.

Prospetto 1 – Incidenza percentuale dei costi di fabbricazione (riferimento ciclo AT)

Fase	Ciclo AT	Ciclo BP	Saldo BP-AT
Trattamento termico	3 %	7 %	+4 %
Rettifica dentatura	22 %	15 %	-7 %
TOTALE	25 %	22 %	-3 %

La riduzione dei costi di rettifica è legata primariamente alla possibilità di ridurre lo spessore di sovrametallo, destinato ad essere rimosso durante la lavorazione di rettifica, grazie ai valori più contenuti di distorsione del profilo della dentatura ottenibile con il ciclo BP.

In relazione ai benefici di riduzione costi ottenuti, mantenendo la conformità alle specifiche di processo originarie, la modifica al ciclo di trattamento termico è stata deliberata, ed è attualmente in fase di inserimento a regime.

3.2 INGRANAGGI POMPA

Una coppia di ingranaggi per pompa idraulica (Lunghezza totale 130 mm – Fascia dentata 20 mm) viene realizzata per lavorazione meccanica da barra in acciaio del tipo 20 MnCr 5 (EN 10084), con successivo trattamento termico di carbocementazione, tempra e rinvenimento, richiedendo spessore efficace di indurimento compreso tra $0,50 \div 0,65$ mm, durezza superficiale compresa tra $59 \div 62$ HRC, e durezza a nucleo compresa tra $30 \div 35$ HRC (Figura 13).



Fig. 13 – Ingranaggio pompa (trattamento BP1)

A valle del ciclo termico, le parti di supporto (colletti) vengono sottoposte a lavorazione di rettifica. Per valutare le opportunità di semplificazione del ciclo di fabbricazione, sono stati realizzati due lotti di 10 pezzi ciascuno, ricavati dal medesimo spezzone di barra.

I due lotti sono stati diversificati in funzione del ciclo industriale di trattamento termico: un lotto è stato sottoposto all'attuale prassi di fabbricazione, che prevede un trattamento di carbocementazione in atmosfera carburante con tempra in olio (AT1), mentre l'altro è stato trattato in bassa pressione con tempra in gas (BP1).

Le fasi di lavorazione meccanica preliminare e di finitura sono state svolte presso il medesimo fornitore.

Per monitorare l'effetto dei cicli termici sulle distorsioni dei componenti, presso l'azienda utilizzatrice sono stati eseguiti rilievi dimensionali prima e dopo il trattamento termico. Nei Prospetti 2 e 3 sono riportati sono mostrate le distribuzioni degli errori di profilo riferiti ai parametri di profilo e di elica.

Prospetto 2 – Errori di forma prima e dopo trattamento termico AT1

PARAMETRO	Trattamento: AT1					
	CONDOTTO			CONDUTTORE		
	PRIMA TT	DOPO TT	SCARTO	PRIMA TT	DOPO TT	SCARTO
F_{α}	9,9	25,5	15,6	10,1	24,8	14,6
$F_{f\alpha}$	5,1	9,6	4,5	7,0	9,8	2,9
$F_{H\alpha}$	-3,0	-16,9	-13,9	-4,0	-17,3	-13,3
F_{β}	6,8	18,1	11,2	5,2	14,1	8,9
$F_{f\beta}$	6,3	8,6	2,3	3,5	8,4	4,9
$F_{H\beta}$	-2,2	-2,9	-0,8	3,0	3,3	0,3

Prospetto 3 – Errori di forma prima e dopo trattamento termico BP1

PARAMETRO	Trattamento: BP1					
	CONDOTTO			CONDUTTORE		
	PRIMA TT	DOPO TT	SCARTO	PRIMA TT	DOPO TT	SCARTO
F_{α}	10,1	24,8	14,7	10,7	17,6	6,8
$F_{f\alpha}$	6,3	10,0	3,7	7,1	7,8	0,7
$F_{H\alpha}$	-0,9	-12,6	-11,7	-3,9	-10,4	-6,5
F_{β}	10,1	8,3	-1,4	5,9	13,6	7,7
$F_{f\beta}$	8,3	7,7	-0,6	4,1	7,9	3,7
$F_{H\beta}$	-2,2	-1,3	0,9	2,4	4,9	2,5

In generale, si osserva che il trattamento AT1 dà luogo agli indici di peggioramento più alti. Le considerazioni svolte con il manufacturing dell'azienda utilizzatrice hanno portato alle valutazioni relative ai costi di fabbricazione richiamate nel prospetto 4.

Prospetto 4 – Incidenza percentuale dei costi di fabbricazione (riferimento ciclo AT1)

Fase	Ciclo AT1	Ciclo BP1	Saldo BP1-AT1
Costo materiale	15 %	15 %	==
Tornitura	14 %	14 %	==
Dentatura	16 %	16 %	==
Realizzazione sede chiavetta	4 %	4 %	==
Rasatura	10 %	10 %	==
Trattamento termico	4 %	8 %	+4 %
Raddrizzatura	8 %	2 %	-6 %
Rettifica colletti	21 %	15 %	-6 %
Spazzolatura	4 %	4 %	==
Collaudo	4 %	4 %	==
TOTALE	100 %	92 %	-8 %

La riduzione dei costi di raddrizzatura, come si è visto, è legata all'entità complessivamente inferiore di deformazioni prodotte dal trattamento BP1; la sostanziale riduzione dei costi di rettifica è invece legata alla possibilità di ridurre di almeno 0,1 mm lo spessore di sovrametallo, destinato ad essere rimosso durante la lavorazione di rettifica.

Incoraggiata da questi risultati, l'azienda utilizzatrice sta conducendo attualmente una campagna di prove funzionali per convalidare l'opportunità di introdurre il ciclo BP1 all'interno del programma di produzione per i componenti.

4.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I casi trattati si collocano certamente all'interno di quella che è la prassi ordinaria di produzione delle imprese meccaniche. Sulla base dei risultati raccolti, è quindi possibile articolare alcune considerazioni generali:

- In primo luogo, appare evidente che l'incidenza dei costi di trattamento sul costo totale di fabbricazione di un componente complesso è assai contenuta; di conseguenza, i benefici che possono essere apportati dalle tecnologie più evolute sono fortemente influenzate come entità dal tipo di componente che deve essere realizzato

- È anche erroneo trarre la conclusione che dal punto di vista della cost reduction sia possibile ottenere una soglia minima di beneficio (es. “i costi si riducono almeno del 6%”) attraverso l’introduzione di una tecnologia innovativa di processo
- Come è ovvio, ma non scontato nella pratica di chi si occupa di scelte tecnologiche, non è il costo della singola fase che si deve considerare, ma l’insieme nel ciclo di fabbricazione; ne sono una testimonianza diretta i casi qui presentati, in cui introducendo una fase di lavoro a costo maggiore, si ottiene una riduzione anche cospicua del costo di produzione complessivo
- La considerazione sui benefici in termini di cost reduction deve sempre essere controbilanciata da un’adeguata garanzia di poter conseguire le caratteristiche metallurgiche essenziali per assicurare il corretto funzionamento del componente/sistema da produrre

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Federico Rivari della Casappa SpA e Dino Calvanelli della Dana SpA per la preziosa e fattiva collaborazione nella conduzione dei rilievi dimensionali e per la condivisione dei risultati, grazie ai quali è stato possibile realizzare la presente memoria.