



Una tecnologia per  
il trattamento termico  
nel ventunesimo  
secolo che dà una  
risposta concreta  
alla questione della  
sostenibilità e del  
risparmio energetico

# IL TRATTAMENTO TERMICO DIGITALE

Luca Tomesani\*

\*Professore ordinario di Tecnologie e Sistemi di Lavorazione presso l'Università di Bologna

**N**el momento storico in cui maggiormente emergono i problemi del costo dell'energia e della sostenibilità ambientale, il dibattito si concentra sui temi della produzione e quasi mai su quelli del consumo. Si dice che la nostra industria ha bisogno di quella energia, sottintendendo che non potrà mai farne a meno. L'assioma, quindi, è: se vogliamo produrre, servirà sempre quella energia. Tra le cause di questo strabismo, il fatto che la produzione di energia assume forme concentrate e non distribuite, cosicché è più facile parlare di miliardi di euro, oltre che di potenziali blackout, invece che di risparmi della bolletta energetica quotidiana.

Oggi non è ancora emerso un serio dibattito sulle modalità di trattamento termico della nostra industria manifatturiera, dibattito tanto più necessario quanto più le nuove tecnologie sono completamente disponibili, ampiamente testate sui prodotti e pronte per prendere per mano l'industria e portarla davvero nel ventunesimo secolo.

Proprio oggi, nel momento storico in cui maggiormente si sviluppano le tecnologie digitali, i componenti meccanici vengono ancora impacchettati, spediti su camion a subfornitori di trattamento termico, messi tutti insieme, a migliaia, in enormi forni scaldati a gas metano, immersi in vasconi di tempra con acque agitate, controllati in laboratorio presso il fornitore con piani di

campionamento statistico, infine rimessi su camion e riportati a casa. Questi pezzi non sono induriti là dove serve, ma ovunque, indiscriminatamente, con un eccesso di energia del 99% rispetto al fabbisogno reale. In altri casi, facciamo costruire speciali utensili induttori che si adattano alle geometrie dei componenti, poi li affidiamo a mani esperte (speriamo), mettiamo a punto sistemi di tempra e poi ancora controlli e andirivieni di camion. Tutto questo per due motivi, probabilmente ottimi: 1) si è sempre fatto così; 2) con tutti i problemi che abbiamo, non dovremo mica anche preoccuparci del trattamento termico? Che ci pensi il trattamentista.

### Quanto è sensato, oggi, questo modo di lavorare?

Arrivando al dunque, ci possiamo ben chiedere se, nel corso degli ultimi cinquant'anni, l'innovazione tecnologica sia stata in grado di proporre soluzioni digitali e a basso impatto energetico per il trattamento termico, che garantiscano risultati certi, bassi consumi, autosufficienza produttiva, monitoraggio one-to-one, non necessità di controllo di laboratorio.

Il laser

Dato che la domanda è retorica, è chiaro che la risposta è sì, il trattamento termico digitale esiste ed è il trattamento tramite laser. Questa modalità di trattamento termico, tanto per cominciare, consuma un centesimo della energia di quello convenzionale. Un centesimo significa totale azzeramento della bolletta energetica. Il trattamento termico laser è quel trattamento che per funzionare investe il pezzo con la potenza di una lampadina o, per le applicazioni più pesanti, di un phon. Un impianto di trattamento termico laser che funziona su due turni, alla fi-

ne del mese costa dai cinquecento ai mille euro di bolletta della luce.

Il trattamento termico laser produce un indurimento superficiale sempre maggiore (almeno pari) di quello convenzionale e della tempra ad induzione, senza bisogno di mezzi tempranti, perché il pezzo si raffredda da solo, dall'interno. La velocità del trattamento, inoltre, induce una microstruttura particolarmente fine che aumenta la tenacità rispetto ad altri metodi.

I report tecnici ed industriali che valutano questa applicazione sono molte migliaia, in un amplissimo campo di materiali, provando la sua affidabilità in applicazioni antiusura, a fatica, ad impatto, alla corrosione su tutta la componentistica meccanica, dagli ingranaggi alle camme, dagli stampi agli alberi, dalle pale di turbina alle guide [1-9]. In tabella 1 sono riportati i risultati di alcuni confronti diretti fra le diverse modalità di trattamento termico eseguiti da differenti centri di ricerca su alcuni materiali da costruzione. Emerge chiaramente che il trattamento termico digitale è competitivo non solo verso la tempra ad induzione, ma anche verso i trattamenti di tempra e cementazione realizzati su materiali a basso contenuto di carbonio utilizzati nella costruzione di ingranaggi [3].

### Le caratteristiche del trattamento termico digitale

Sciolto quindi il nodo della equivalenza delle performance dei prodotti, concentriamoci ora su alcuni aspetti cruciali e peculiari del trattamento termico digitale. Gli impianti di trattamento termico digitale afferrano il pezzo dal pallet o da un nastro, lo portano sotto la sorgente termica [Fig. 1] e lo muovono, su un percorso idoneo progettato su un CAM dedicato, in modo da investire in sequenza tutte le superfici da indurire [Fig.2], infine lo ripongono.

Durante il ciclo, una telecamera termica produce immagini continue della zona trattata [Fig. 3], controllando in retroazione la potenza in modo da mantenere la temperatura perfettamente costante sul pezzo e garantendo l'ottenimento delle caratteristiche desiderate [Fig.4]. Il controllo remoto consente di intervenire a distanza, i dati di trattamento possono essere usati come certificazione di processo.

Spesso questa operazione conclude il ciclo; infatti, le distorsioni termiche sono di un ordine di grandezza inferiore alle altre tecniche, ridu-

**Tab.1 Dati sperimentali di confronti fra differenti tecnologie di trattamento. È indicato con 100 il valore del processo di riferimento**

	Materiale	Tempra massiva	Tempra ad induzione	Trattamento termico digitale	Reference
Resistenza ad usura	42CrMo4		100	114 ÷ 128	[1]; 2013
	Ghisa 17%Cr	100		110	[2]; 2022
Resistenza ad impatto	42CrMo4		100	100 ÷ 126	[1]; 2013
Permanenza di austenite residua	Ghisa 17%Cr		100	60	[2]; 2022

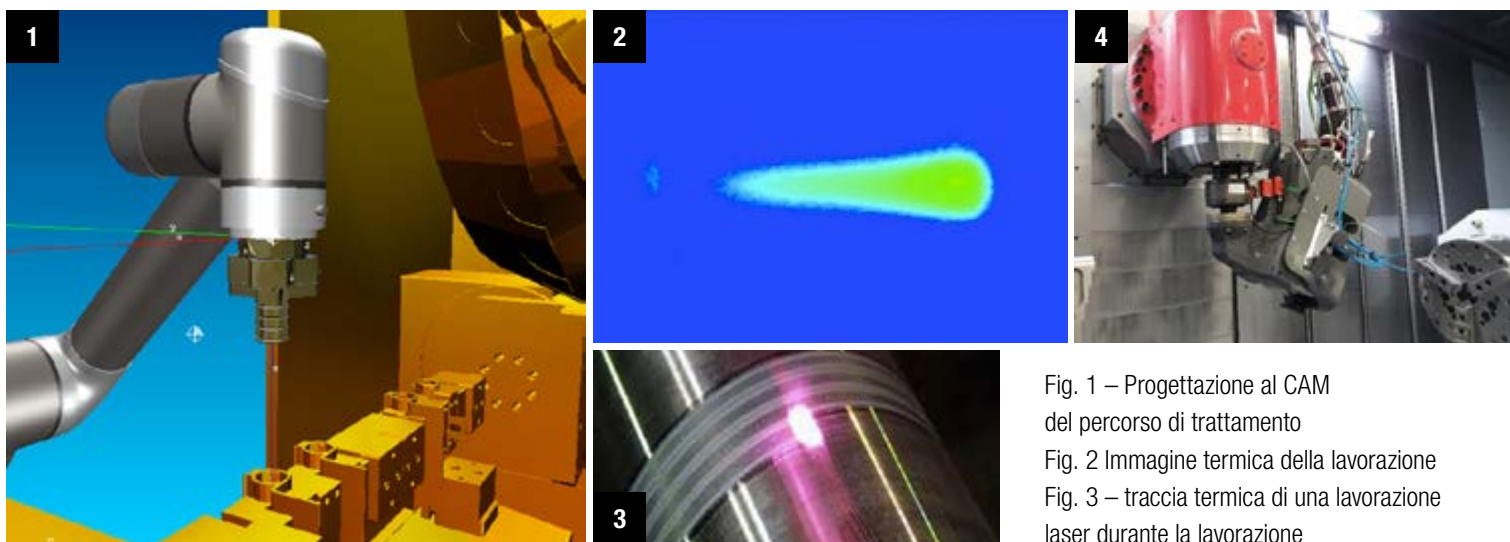


Fig. 1 – Progettazione al CAM del percorso di trattamento

Fig. 2 Immagine termica della lavorazione

Fig. 3 – traccia termica di una lavorazione laser durante la lavorazione

Fig.4 – Integrazione di una testa di trattamento termico all'interno di una macchina a CNC

Fig. 5 Controllo della potenza per mantenere costante la temperatura di lavorazione

cendo le necessità di ripresa di rettifica, nella maggioranza dei casi eliminandole del tutto. La riduzione dei costi e la semplificazione del ciclo di lavorazione è la immediata conseguenza. Per i componenti di maggiori dimensioni (stampi, pulegge, camme, ruote dentate di grande modulo) il pezzo è posizionato a terra oppure su un posizionatore ed è il sistema di riscaldamento digitale ad essere movimentato per raggiungere efficacemente ogni punto da trattare [Fig. 5].

Non si tratta di una tecnologia che va provata, ma di una tecnologia che va applicata. Chiede-

remo ad una azienda che costruisce case di mattoni di provare che le case stanno in piedi dato che noi abbiamo sempre vissuto in una baita? D'altra parte, se i vantaggi della tecnologia digitale sono fuori discussione, è necessario definire i contorni della sua applicabilità, anche da un punto di vista pratico.

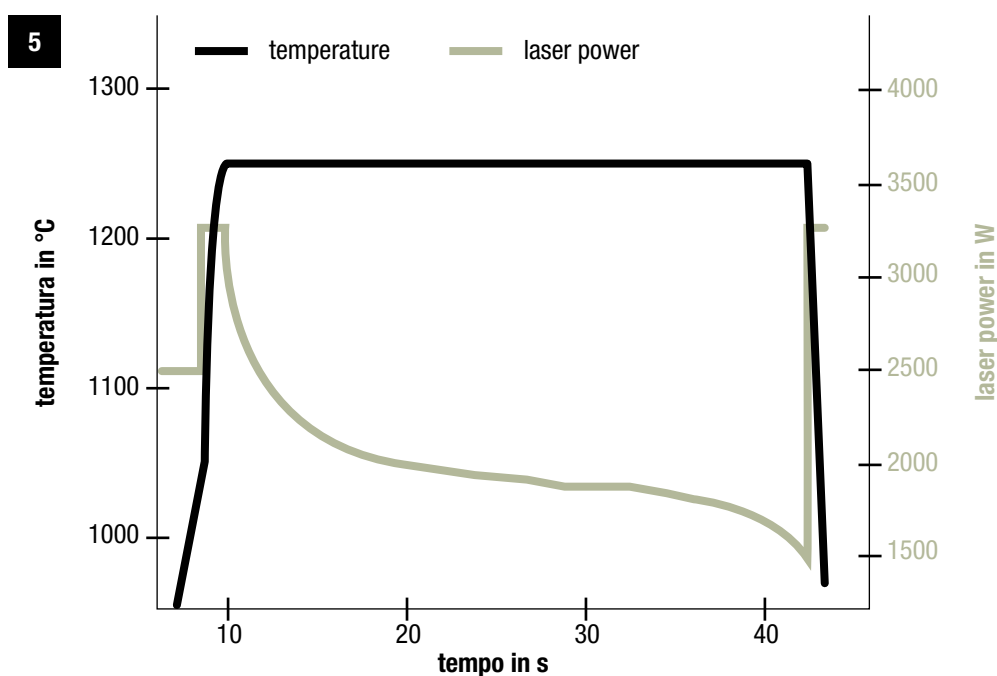
Le profondità di trattamento non possono essere eccessive. Da 0,3 a 3 mm è il tipico range di lavorazione, ma entro tale gamma è opportuno trovare il compromesso per cui le velocità di avanzamento non scendono troppo (più si va in profondità più si rallenta) e la produttività si riduce. I componenti non possono essere troppo piccoli; viti e nottolini non fanno per questo campo, dato che il calore viene sottratto dall'interno del pezzo e i pezzi piccoli si scaldano subito.

Il classico pezzo cementato, per essere trattato, dovrà essere convertito in un bonificato, dato che il trattamento digitale funziona solo se il contenuto di carbonio è sufficientemente alto. Si avrà una leggera variazione del costo del materiale, ma stessa durezza finale e distorsioni decisamente minori, per i motivi sopra detti.

Se numerosi sono i centri di ricerca industriale in tutto il mondo che padroneggiano questa tecnologia, relativamente poche in Europa sono le aziende che costruiscono sistemi di trattamento industriale. Unica in Italia, Nextema S.r.l., con sede a Bologna, è uno spinoff che dal 2015 raccoglie una ventennale esperienza dell'Università in questo campo, producendo knowhow, applicazioni e soprattutto ingegneri specializzati su questo processo. Nextema, partner del Competence Center Industria 4.0 Bi-Rex, ha propri impianti produttivi per lavorazioni conto terzi, non solo di trattamento

### L'esperienza di Nextema

Se numerosi sono i centri di ricerca industriale in tutto il mondo che padroneggiano questa tecnologia, relativamente poche in Europa sono le aziende che costruiscono sistemi di trattamento industriale. Unica in Italia, Nextema S.r.l., con sede a Bologna, è uno spinoff che dal 2015 raccoglie una ventennale esperienza dell'Università in questo campo, producendo knowhow, applicazioni e soprattutto ingegneri specializzati su questo processo. Nextema, partner del Competence Center Industria 4.0 Bi-Rex, ha propri impianti produttivi per lavorazioni conto terzi, non solo di trattamento



termico digitale, ma anche di saldatura e cladding localizzato. Le tipologie di impianti di trattamento termico digitale sono due: innanzitutto gli impianti stand-alone, in cui l'unità di lavorazione compie esclusivamente attività di trattamento termico.

Un impianto di questo tipo, posto all'interno di una azienda, si comporta come un trattamento in casa propria. In alternativa, è possibile inserire il trattamento termico digitale direttamente all'interno di una macchina utensile, in modo da integrare il trattamento nel ciclo di lavorazione, inclusa la finitura [Fig.6].

La prima soluzione è quella di gran lunga preferita dal mercato perché adatta ad una varietà di componenti diversi; se ne contano decine in Italia e centinaia in Europa. La seconda, più di nicchia, presente in particolare per il mondo automotive, consente di fare un vero just in time per una famiglia di componenti, riducendo il tempo di produzione totale, dal grezzo al finito, a pochi minuti. Così sono induriti gli alberi a camme di diverse vetture di alta gamma.

Certo, non si può pretendere che una azienda che si è sempre rivolta ad un trattamentista esterno si costringa ad un diverso modo di lavorare, per di più sostenendo il costo di un impianto. Ecco allora che diverse aziende in Italia e in Europa, tra cui Nextema, eseguono lavorazioni conto terzi che permettono di conoscere la tecnologia, applicarla gradualmente e valutare con calma l'opportunità di internalizzarla. Ta-

lora la scelta finale è restare con il trattamento digitale realizzato per conto terzi, secondo lo schema convenzionale. Già così, i vantaggi sono numerosi: azzeramento degli scarti, qualità costante, riduzione o soppressione di post-lavorazioni, riduzione dei costi. Tra questi, il fattore qualitativo è di gran lunga quello determinante. La tecnologia digitale, in quanto tale, garantisce per sua natura la totale ripetibilità del ciclo produttivo e non vi è caso in cui cicli di produzione, una volta messi a punto, non abbiano dato il 100% di esito positivo. A questo si aggiunge la grande velocità di risposta del servizio, soprattutto su commesse ripetute, dato che una volta impostato il ciclo di lavoro il percorso viene attuato in pochi minuti.

Si torna quindi alla domanda fondamentale, su quali ragioni vi siano per la lenta adozione di questa tecnologia e su che cosa si debba fare leva per aumentarla. La digitalizzazione dei processi è stata immediata nelle macchine utensili, dove la libertà di definire il moto degli assi ha reso semplici operazioni molto difficili, aumentando il valore sia del componente prodotto, sia del bene strumentale che lo produceva. Per il trattamento termico questa opportunità non si è mai verificata.

I forni sono stati digitalizzati, questo è vero, ma il controllo di un forno è un controllo solamente indiretto del componente, non attribuibile al singolo pezzo. In questo modo, il trattamento termico convenzionale è rimasto un'isola tecnolo-

gica, che offre soluzioni, ma non consente integrazioni e accorciamento della filiera produttiva. Ancora una volta, è il cambio di paradigma il primo ostacolo al cambiamento. Gli incentivi economici servono solo nella misura in cui una azienda, leader di mercato e first mover della innovazione, si rende conto dell'opportunità di riappropriarsi di una tecnologia abbandonata circa un centinaio di anni fa.

Chi lo ha fatto non è mai tornato indietro: nelle aziende che adottano questa tecnologia, i componenti trattati sono programmati a partire dal CAD, i programmi sono inviati al centro di lavoro come in una qualsiasi macchina utensile, i programmi sono caricati da operatori con le medesime competenze degli operatori di CNC, i pezzi sono lucidati anziché rettificati. La semplificazione della value chain è immensa, il lead time si accorcia anche del 90%. Gli uffici spedizione e ricevimento merci si svuotano, non si trasportano più semilavorati, il controllo della produzione si semplifica. Immane, i costi si riducono.

Col tempo, le aziende imparano a "giocare" con il calore del trattamento termico digitale e inventano strategie evolute, note solo a loro, per rendere minime le deformazioni dei pezzi e limitare o abolire rilavorazioni. È così, ad esempio, che alcuni pezzi vengono pretensionati durante il ciclo termico per risultare perfettamente rettilinei alla fine.

Si tratta di un percorso semplice, basta volerlo.

## Bibliografia

[1] Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia, "Wear of Laser surface hardened steels", 2013, results from Project SGS-2013-083

[2] Chen et al., "Effect of quench-tempering and laser quenching on the microstructure and properties of high chromium cast iron", *Journal of Materials Research & Technology*, 2022, vol. 9, pp.2759-2773

[3] Zhang et al., "Comparison of contact Fatigue Strength of Carbon Case Hardening and Laser Hardening of Gears", *Surface Engineering*, 2004, vol.20, n.2, pp.117-120

[4] Lesyk et al., "Combining laser transformation hardening and ultrasonic impact strain hardening for enhanced wear resistance of AISI 1045 steel", *Wear*, 2020, vol.462-463, 203494

[5] Muthukumaran, Dinesh Babu, "Laser transformation hardening of various steel grades using different laser types", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* (2021)

43:103

[6] Cao et al., "Investigation on the microstructure and damage characteristics of wheel and rail materials subject to laser dispersed quenching", *Applied Surface Science*, 450 (2018) 468-483

[7] Chen et al., "Behaviors of 40Cr steel treated by laser quenching on impact abrasive wear", *Optics and Laser Technology* 103 (2018) 118-125

[8] Soriano et al., "Laser surface tempering of hardened chromium-molybdenum alloyed steel", 10th CIRP Conference on Photonic Technologies [LANE 2018], *PROCEDIA CIRP* 74 (2018), 353-356

[9] Buquet et al., "Aiming for improved lifetime of die and mold components through an integrated laser hardening operation, combining machining and a selective heat treatment in one setup", 7th HPC 2016 - CIRP Conference on High Performance Cutting, *PROCEDIA CIRP* 46 (2016), 541, 544.