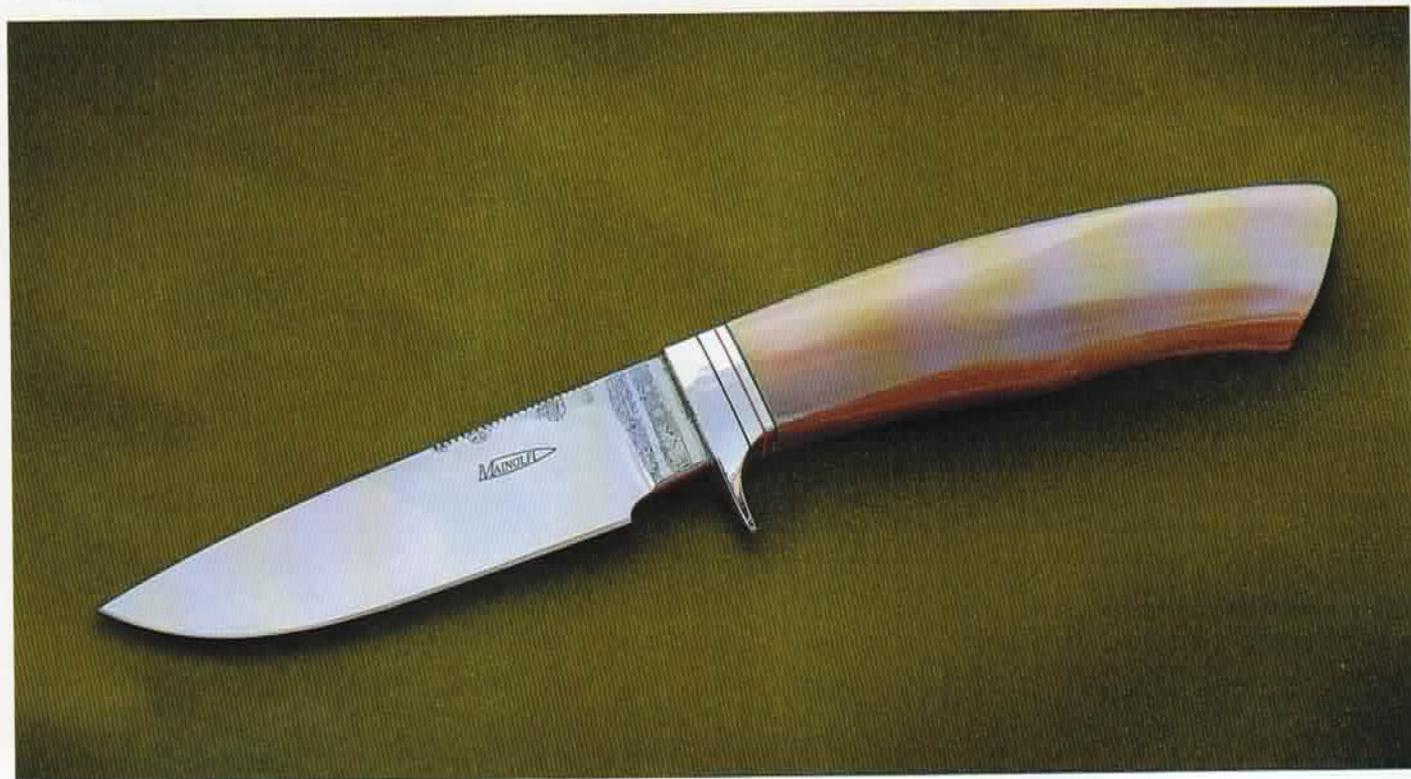


# La Tempra questa sconosciuta



È il procedimento fondamentale per trasformare un pezzo di duttile metallo in un coltello solido e robusto. Vediamo come realizzarla con l'aiuto del coltellinaio Riccardo Mainolfi

di Luigi Sator Tumolo

Sull'argomento è stato scritto di tutto, ma non abbastanza (specie in Italia), quindi il sottoscritto ha deciso di proporre questo articolo chiedendo all'amico Riccardo Mainolfi di parlarci della sua esperienza; infatti, grazie al suo background professionale nonché alla sua peculiare curiosità e mania di perfezionamento (cosa evidente nella sua opera di coltellinaio), è riuscito a produrre una quantità notevole di informazioni (testi universitari, links su internet, collegamenti con knifemakers d'oltre ocea-

no) verificate direttamente sul campo con eccellenti risultati.

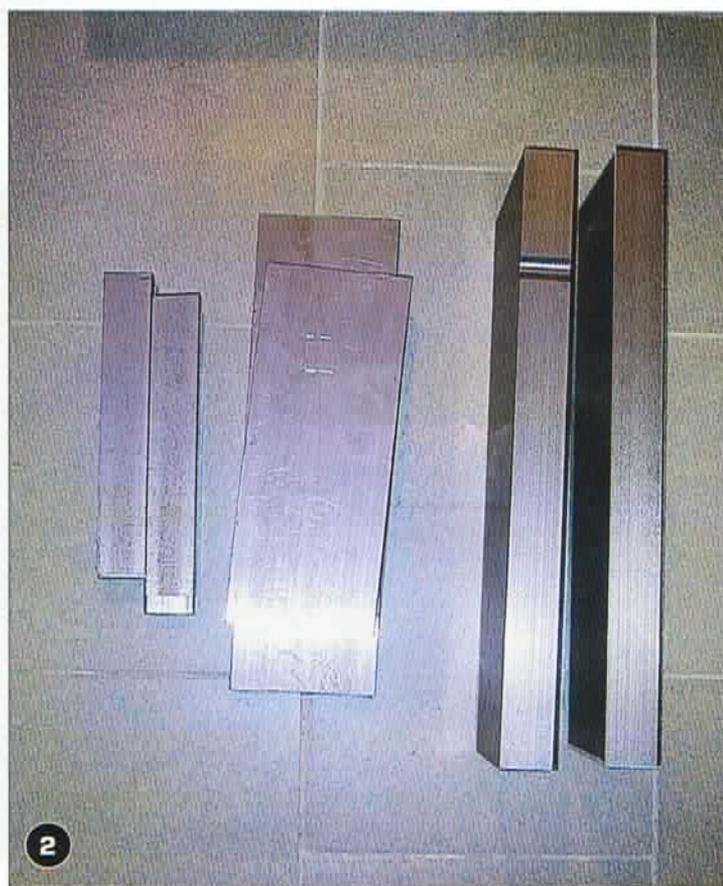
Tutti i test li ha conclusi attraverso la verifica con durometro per la misura della durezza Rockwell della lama, prove di tenacità stringendo in morsa la lama e flettendola fino ad arrivare alla rottura, da cui è stato possibile di volta in volta valutare la granulometria dell'acciaio. La tempra che tratteremo si riferisce ad acciai "autotemperanti" cioè martensitici quali ad esempio: CPM S30V, AISI 440 A/B/C, AISI 420 A/B/C, Damasteel, ATS / RWL 34, D2, AUS8 il cui raffred-

damento veloce a partire dalla temperatura di austenizzazione, permette di ottenere una struttura martensitica. Il metodo che Mainolfi usa non è il classico ad aria (ventilatore, phon, compressore), olio, acqua, ma con... l'alluminio.

Prima vediamo in breve il complesso di trattamenti termici cui le lame vengono sottoposte e che prende il nome di bonifica.

La tempra, durante la quale l'acciaio viene portato a temperatura di austenizzazione (ovvero l'acciaio assume una struttura austenitica) e successivamente, si fa seguire un raffreddamento con sufficiente rapidità in modo che l'austenite si trasformi in martensite.

Il rinvenimento, che può essere singolo o multiplo (2 o anche 3) viene effettuato su un acciaio temprato al fine di



provocare la formazione di una struttura più vicina allo stato di equilibrio fisico-chimico dell'acciaio trattato.

## LA PROCEDURA DI BONIFICA

### La tempra

Supponiamo di dover temprare due lame di uguale spessore (5 mm) lunghe 21 cm. Le lame vengono disposte nella famosa "caramella" di acciaio austenitico in particolare vengono messe una accanto all'altra in modo da formare un singolo strato (il dorso della prima confina con il filo della seconda, non una di fianco all'altra), cercando di lasciare meno aria possibile al suo interno e comunque nulla viene posto nella caramella. Le lame così avvolte vengono disposte di piatto nel forno a temperatura ambiente (se il forno è già caldo le lame subiscono un pre-riscaldamento disponendole ad una temperatura di 500°C e facendole raggiungere lenta-

mente gli 800°C, successivamente la T di tempra) adagiandole su due mattoni di refrattario.

Con un "forchettone" tipo fiocina sub, dopo che le lame sono rimaste 20 minuti a 1065°C (lama in ATS 34), con un movimento che ricorda quello del pizzaiolo, prende la caramella e la dispone su una piastra di alluminio (per lame di queste dimensioni può avere misure tipo 20 cm 40 cm 2cm) un'altra piastra di alluminio delle stesse dimensioni viene prontamente

appoggiata sopra la caramella.

Dopo circa 60-80 secondi le lame hanno raggiunto una temperatura di circa 250°C (dipende dallo spessore delle lame e delle piastre) con guanti da saldatore Riccardo prende il pacchetto, lo apre ed estrae le lame; in questo momento esse si trovano ad una temperatura per la quale è possibile, se necessario, applicare una lieve forza con le mani guantate e correggere eventuali distorsioni. È un breve periodo di tempo dopo il quale le lame diverranno



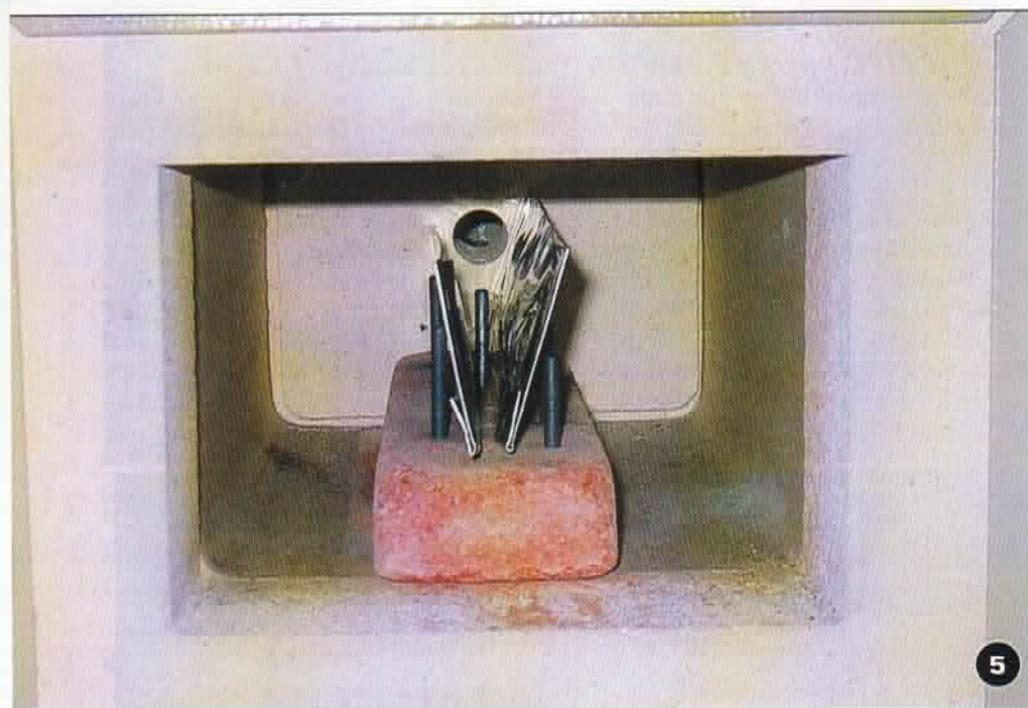
**1. Il forno a controllo della temperatura per la tempra delle lame**

**2. Le piastre di alluminio utilizzate per raffreddare le lame. Le piastre a destra hanno dimensioni: 50 cm 20 cm 4 cm ed un peso di circa 10 kg ciascuna**

**3. Le lame che verranno temprate. In questo caso hanno spessori diversi per cui non sarà possibile mettere sia nella "caramella" che sia tra le piastre più di una lama**



- 4.** La posizione delle lame nella caramella quando queste hanno lo stesso spessore
- 5.** Le lame disposte nel forno ancora a temperatura ambiente
- 6.** Tutto è pronto per il raffreddamento delle lame
- 7.** Il forno ha raggiunto la temperatura di 1065°C in circa 1,5 ore
- 8.** Dopo 15 minuti si cominciano a prendere le lame. Avendo spessori diversi le lame vengono estratte dal forno dalla più sottile alla più spessa
- 9.** Il primo pacchetto viene estratto dal forno ed adagiato sulla piastra di alluminio e poi in funzione dello spessore a seguire le altre
- 10.** Il pacchetto tra le due piastre di alluminio



resistenza all'usura. In un buon coltello si deve tendere ad avere una lama in cui tutta l'austenite si è trasformata in martensite, ciò poiché l'austenite è fase relativamente tenera rispetto alla martensite e di conseguenza rappresenta un punto di fragilità nella struttura del coltello. All'aumentare della percentuale di carbonio diminuisce il valore della temperatura in prossimità della quale si assiste alla completa trasformatio-

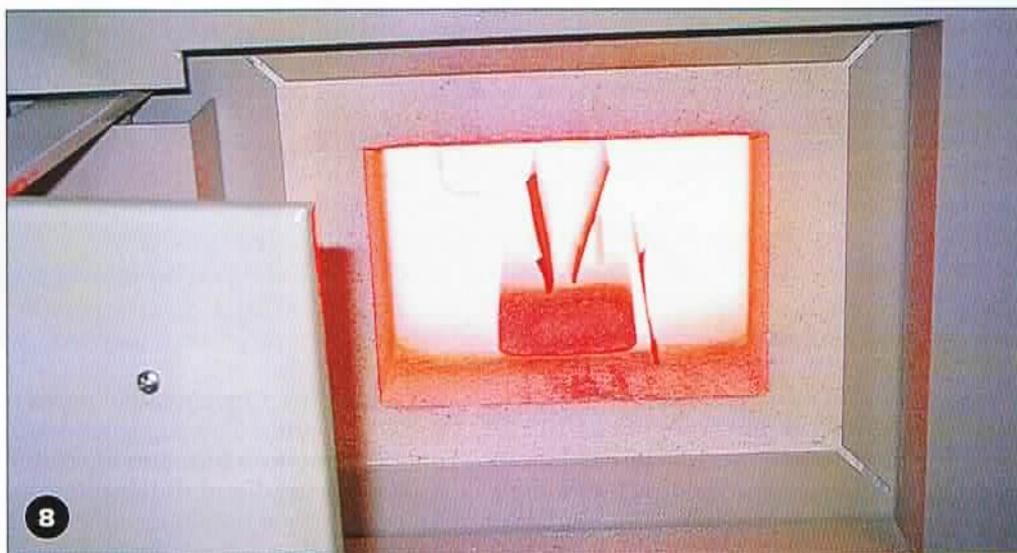


ne e fragili come il vetro, per cui è importante realizzare movimenti sicuri e veloci. Dopo questo controllo le dispone nuovamente tra i due parallelepipedi di alluminio, e le lascia raffreddare a temperatura ambiente. Bisogna precisare che l'assorbimento di calore da parte delle piastre di alluminio sarà proporzionale al loro spessore, la quantità di calore in grado di assorbire e dissipare e la velocità con la quale le lame vengono raffreddate è paragonabile a quella ottenibile im-

mergendole in olio. Dopo la tempra Mainolfi fa seguire due rinvenimenti ma prima ancora, le lame subiscono un sottoraffreddamento per circa 10 ore. Con il raffreddamento sotto zero indicato anche come "deep cooling" riusciamo ad eliminare l'eventuale austenite che è rimasta residua al termine del processo di tempra. Il sottoraffreddamento dell'acciaio è consigliabile per tutti quegli oggetti ai quali viene richiesta una maggiore



7



8

ne dell'austenite in martensite. In un acciaio non legato per percentuali superiori allo 0,7% di carbonio tale temperatura assume valori inferiori a 0°C per cui, per portare a completamento la trasformazione si rende necessario un raffreddamento del materiale sotto questa temperatura. In un laboratorio artigianale tale sottoraffreddamento può essere realizzato utilizzando bagni termostatici di alcool/acetone con aggiunta di ghiaccio secco, o altrimenti, immergendo la lama in azoto liquido contenuto in vasi Dewar.

Al fine di ottenere il massimo da tale procedura è necessario che non venga fatto passare molto tempo tra tempra e sottoraffreddamento.

E' doveroso aggiungere che è dimostrato che a -80°C non si trova più austenite nella maggior parte degli ac-

ciai. È quindi sufficiente un semplice trattamento freddo (cold treatment) per assistere ad un discreto incremento della resistenza all'usura del componente.

Dai test che il coltellinaio ha realizzato con durometro prima e dopo sottoraffreddamento si è riscontrato un incremento della durezza di 1-2 punti Rochwell.

Una valida alternativa al "sottoraffreddamento" prevede la realizzazione di 3 rinvenimenti, di cui il primo inizia quando ancora la temperatura della lama dalla tempra è di circa 80°C, in questo modo si ha il doppio pregio di diminuire la probabilità di insorgenza di fratture e di distendere in maniera ottimale l'acciaio azzerando quasi tutte le tensioni residue interne all'acciaio.

## Il rinvenimento

L'acciaio delle nostre lame ha subito una austenizzazione alla temperatura più elevata possibile, ciò allo scopo di solubilizzare nell'austenite la quantità maggiore possibile di elementi. Dopo la tempra la struttura dell'acciaio sarà composta da martensite, austenite residua e carburi. La quantità di austenite residua è stata ridotta o praticamente quasi azzerata grazie al sottoraffreddamento. E' necessario ora procedere con il rinvenimento in modo da eliminare gli stress interni all'acciaio ovvero è necessario tendere ad una struttura più vicina allo stato di equilibrio fisico-chimico dell'acciaio trattato.

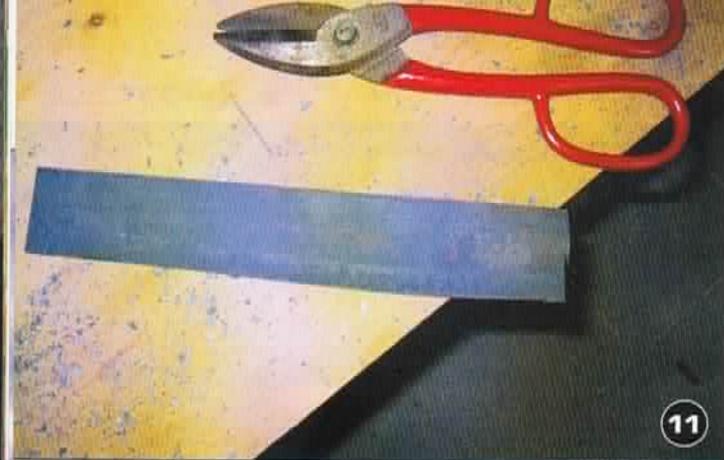
Quindi Mainolfi esegue a temperatura di 510°C un primo rinvenimento di un'ora e poi quando le lame sono a temperatura ambiente le ripone nuova-



9



10



mente in forno per una secondo rinvenimento sempre di un'ora a 510°C. Riccardo nell'illustrazione del metodo mi ha suggerito di prestare grande attenzione al raffreddamento post rinvenimento poiché gli acciai inox martensitici quando vengono rinvenuti nell'intervallo di temperatura 430-570°C sono sensibili a quella che prende il nome di malattia di Krupp, che comporta una diminuzione sia della resistenza alla corrosione che della tenacità, al fine di evitarla è importante dopo ogni rinvenimento che la temperatura della lama venga abbassata in modo quanto più repentino possibile, per cui dopo ogni rinvenimento è bene porre le lame nuovamente tra le due piastre di alluminio che le raffredderanno in brevissimo tempo. Alla fine del processo di bonifica il coltellinaio testa la durezza con durometro il responso dello strumento è una durezza di 59 HRC che per questo acciaio (come altri) è un ottimo compromesso.

## Conclusioni

Il riscaldamento dell'acciaio coinvolge tutti i meccanismi di trasporto del calore (conduzione, convezione ed ir-

raggiamento). Ovviamente il pezzo si riscalda a partire dalla superficie esterna. In tal modo si formano inevitabilmente dei gradienti di temperatura tra la superficie riscaldata ed il cuore ancora freddo e dei corrispondenti gradienti di deformazione: le parti più calde si dilatano ma sono ostacolate dalla presenza di parti fredde.

Nella realizzazione di una corretta tempra è importante tenere presente questo e utilizzare sempre mezzi idonei e qualitativamente buoni; un forno ad esempio la cui porta non chiude bene, realizza all'interno della camera di tempra un gradiente termico di difficile schematizzazione variabile in funzione della posizione della termocoppia, il tutto ovviamente influisce in modo marcato sulla qualità della tempra delle nostre lame.

Il sistema fin qui riportato è diffuso presso i coltellinaio americani essendo molto vantaggioso: in fase di raffreddamento non si sprigionano fumi, cattivi odori e non ci sono fiamme, ma la cosa più interessante è che si riduce notevolmente (potrei dire si annulla) la possibilità che la lama si deformi in fase di raffreddamento poiché subisce una sottrazione di calore uniforme da

**11. Dopo circa 60 secondi il pacchetto viene preso con i guanti ed aperto**

**12-13. La lama viene estratta e viene attentamente controllata onde verificarne l'integrità**

**14. Dopo il controllo la lama viene riposta tra le piastre fino a quando non raggiunge la temperatura ambiente**

**15. Le tre lame temprate**

**16. Le tre "caramelle" in acciaio austenitico dopo la tempra. Vengono impiegate una sola volta per cui dopo l'uso vengono buttati**

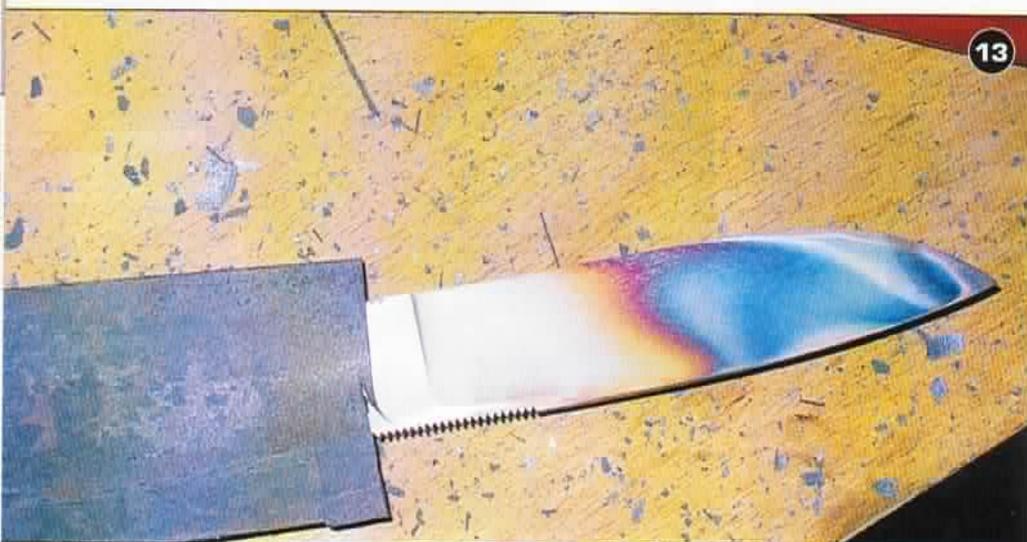
entrambi i lati. Le piastre di alluminio hanno la capacità di assorbire e dissipare grosse quantità di calore in pochissimo tempo.

Mainolfi sconsiglia di utilizzare questo sistema di raffreddamento per la tempra di acciai non inox ovvero "oil hardening" poiché per questa tipologia di acciai la durezza ottenibile sarebbe inferiore a quella ricevuta dallo spegnimento in olio.

Nella tempra di una lama intervengono molteplici fattori e variabili quali gli acciai impiegati, gli spessori, il tipo di forno (vedi velocità di stabilizzazione alla temperatura impostata e stabilità in temperatura, precisione complessiva del forno), velocità di movimento di raffreddamento, spessori e dimensioni complessive delle piastre di alluminio.

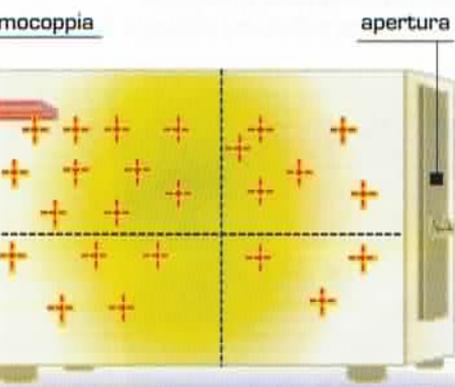
Come il coltellinaio ci dice: "... pur ritenendo la bonifica di una lama il procedimento attraverso il quale si conferisce l'anima all'acciaio è necessario essere coscienti che un buon coltello è la sintesi di un insieme di caratteristiche come: geometria, bilanciamento, trattamento termico, forma e materiali del manico etc., un buon coltello si può definire tale solo se in esso riusciremo a sintetizzare tutte queste caratteristiche".

Devo ammettere che inizialmente ero perplesso ma l'intervistato mi ha garantito quanto questo metodo sia

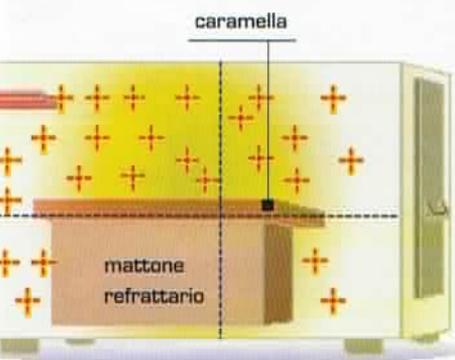


efficace con i vantaggi di cui sopra. Abbiamo inoltre dissertato su cosa accade teoricamente in un forno da tempra e in seguito ho voluto schematizzare quello che ne è evinto.

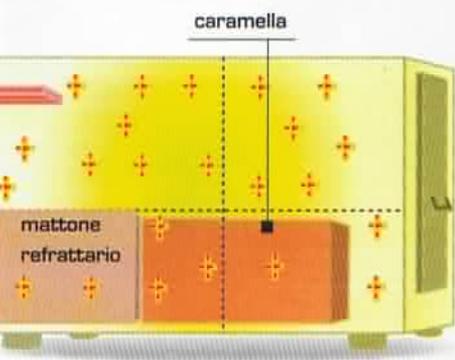
### Quello che accade (in teoria) in un forno da tempra:



Le stelline indicano simbolicamente la distribuzione relativa del calore (T assoluta 1070°) nella zona superiore e inferiore del forno e in quella prossimale e distale alla termocoppia.



La figura mostra come la caramella adagiata sul fianco sul mattoncino refrattario (che conserva la stessa T impostata) assuma in maniera uniforme la T su tutta la superficie, cosa contraria se dovessimo posizionarla perpendicolare al piano di appoggio.



... e per chi vuole entrare nei meandri tecnici Mainolfi ci ha indicato lo studio dei grafici che seguono.

Lo studio della cinetica delle trasformazioni cui è oggetto la struttura austenitica del metallo in condizioni di temperatura costante (isoterma) è stata realizzata per la prima volta da Bain, al quale dobbiamo le cosiddette curve TTT. Per la realizzazione dei diagrammi le ditte che realizzano gli acciai seguono una procedura che può essere schematizzata:

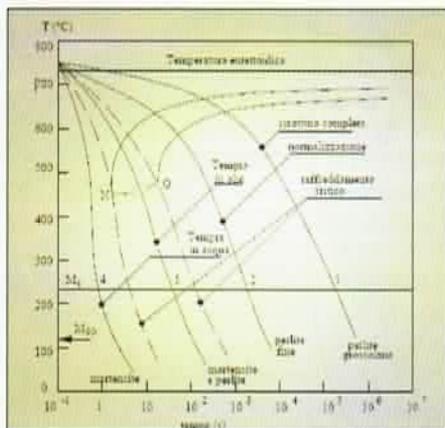
1. l'acciaio viene riscaldato ad una elevata temperatura prefissata, in modo da fargli assumere una struttura completamente austenitica,
2. trasferimento praticamente istantaneo dell'acciaio in un bagno termostatico mantenuto a temperatura T2 costante e inferiore a quella di austenizzazione,
3. mantenimento del campione di acciaio

alla temperatura T2 per un tempo prefissato t;

4. prelievo del campione dal bagno e immediato raffreddamento a temperatura ambiente e successiva indagine strutturale per stabilire la quantità di austenite che si è trasformata.

5. Ripetendo questa serie di operazioni per tempi diversi alla medesima temperatura T2 e a temperature T2 via via decrescenti è possibile individuare, per ogni valore di T2, il tempo ti di incubazione della trasformazione (cioè il tempo in corrispondenza al quale inizia la trasformazione) e il tempo tf al quale la trasformazione si è completata (coloro che vogliono sapere di più, rimandiamo alla lettura dei grafici alla fine dell'articolo).

Riportando il tutto in un diagramma temperatura-tempo, con il tempo espresso in scala logaritmica, e i tempi ti e tf di inizio e fine trasformazione dell'austenite in corrispondenza ad ogni temperatura T2, si ottengono le due curve "i" ed "f", dette curve di Bain o curve TTT (Temperatura-Tempo-Trasformazione).



Dalla lettura del diagramma (per semplicità viene usato il diagramma tipico di un acciaio al carbonio non inox) appare evidente che:

- ▶ al di sotto dell'orizzontale del punto AC3 (e sopra Ms, che verrà definito in seguito) si hanno pertanto tre campi;
- ▶ un primo campo a sinistra, nel quale l'acciaio ha ancora struttura completamente austenitica, però instabile, indicato con Ai;
- ▶ un campo intermedio compreso tra le due linee "i" ed "f" (inizio e fine trasformazione), dove l'acciaio ha in parte struttura austenitica e in parte strutture derivanti dalla trasformazione dell'austenite;
- ▶ un terzo campo a destra, costituito esclusivamente dalle strutture prodotte dalla trasformazione dell'austenite, strutture che, al variare della temperatura T2, possono essere perlite superiore, bainite inferiore.

Le due linee di inizio e fine trasformazione terminano inferiormente, in corrispondenza alla comparsa di altre due linee ad andamento orizzontale, che corrispondono alla trasformazione, non più isoterma, dell'austenite in martensite. Tali linee sono identificate come Ms (martensite start) e Mf (martensite finish).

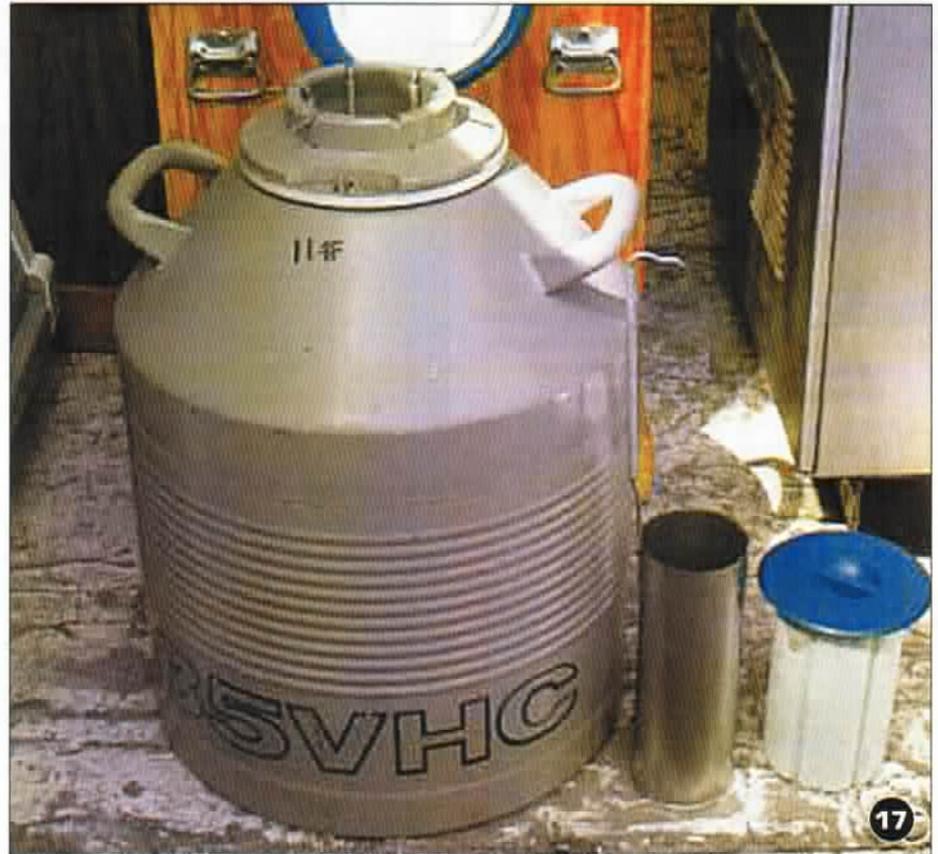
La trasformazione martensitica è com-

**17.** Le lame subiscono il sottoraffreddamento attraverso immersione in una soluzione di ghiaccio ed acetone

**18-19.** Dopo circa 10 ore di sottoraffreddamento, le lame subiscono due cicli di rinvenimento

**20-21.** A bonifica finita questa è una delle lame parzialmente pulita dalla lieve decarburizzazione superficiale

**22.** Alcune delle lame utilizzate per i test



pletamente diversa dalle trasformazioni isoterme, si ha per raffreddamenti veloci del campione dal campo di stabilità dell'austenite fino a temperature  $T_2$  inferiori al valore caratteristico della linea  $M_s$ , con riferimento al diagramma in cui  $M_s = 220\text{ }^\circ\text{C}$ , un raffreddamento rapido del campione a  $150\text{ }^\circ\text{C}$  fa sì che una parte ben determinata di austenite si trasformi istantaneamente in martensite, la cui quantità non varia più con il tempo di permanenza a  $150\text{ }^\circ\text{C}$ .

In qualche caso la parte rimanente di austenite si trasforma nel tempo in bainite (le linee tratteggiate  $B_i$  e  $B_f$  indicano rispettivamente l'inizio e la fine della trasformazione). Si può anche dire che la trasformazione dall'austenite in martensite procede solo quando la temperatura si abbassa tra le due linee  $M_s$  e  $M_f$  e la trasformazione si arresta se si interrompe il raffreddamento ad una temperatura intermedia.

A rigore, tale trasformazione, non essendo isoterma, non dovrebbe essere riportata sul diagramma TTT; si usa tuttavia indicare le linee  $M_s$  e  $M_f$  nel diagramma in quanto esse chiudono inferiormente il campo delle possibili



trasformazioni isoterme (cioè il campo dell'austenite instabile).

Nel caso dei diagrammi TTT per acciai inox martensitici le due curve  $i$  ed  $f$  risultano spostate sulla destra, ovvero nel campo di tempi più lunghi.

Nei trattamenti termici più diffusi e di maggior interesse applicativo, la trasformazione dell'austenite non avviene a temperatura costante, ma nel corso di

un raffreddamento continuo. Pertanto, nel seguire o prevedere le trasformazioni di fase, è necessario fare riferimento alle curve di trasformazione anisotermica dell'austenite, cioè ai diagrammi continui o curve CCT (Continuous Cooling Transformation). Tali curve si ottengono segnando su ogni traiettoria di raffreddamento i punti di inizio e di fine trasformazione dell'austenite.

Con riferimento ad un acciaio non inox, si considerino alcune curve corrispondenti a diverse velocità di raffreddamento continuo.

Si prenda in esame la curva "1". Dopo circa 6 s, questa curva intersecherebbe la linea che rappresenta l'inizio della trasformazione perlitica (TTT) nel punto "a". Questo tempo è infatti quello richiesto per nucleare la perlite isotermicamente a  $650\text{ }^\circ\text{C}$  (cioè alla temperatura corrispondente al punto "a"). Un campione che segua la curva di raffreddamento "1" rimane però a temperature superiori ai  $650\text{ }^\circ\text{C}$  per l'intero





intervallo dei 6 s. Poiché il tempo richiesto per l'inizio della trasformazione perlitica a temperature superiori a 650 °C è più lungo, il campione raffreddato in modo continuo non è in grado di dare inizio alla trasformazione perlitica alla fine dei 6 s. Occorre quindi un tempo maggiore perché la trasformazione possa iniziare.

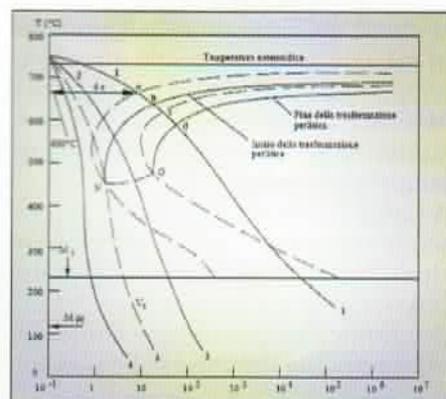
Dal momento che nel raffreddamento continuo un aumento nel tempo è associato con una diminuzione di temperatura, il punto in cui la trasformazione inizia si trova a destra e sotto il punto "a" ed è indicato con "b".

Nello stesso modo, si può dimostrare che il punto "d" di fine trasformazione perlitica è abbassato e spostato verso destra rispetto al punto omologo "c", relativo alle curve TTT.

Nel diagramma CCT preso in esame, non compare la trasformazione bainitica: ciò è in relazione al fatto che le linee di inizio e di fine trasformazione perlitica si sovrappongono solo in parte nella zona di trasformazione bainitica del diagramma TTT. Perciò con la moderata velocità di raffreddamento ca-

ratteristica della curva "1", l'austenite si trasforma completamente in perlite prima di raggiungere il campo della eventuale trasformazione bainitica. In questo caso, poiché l'austenite è già completamente trasformata, non si può più formare bainite.

Viceversa, durante un raffreddamento secondo la curva "2", il campione rimane nella regione della trasformazione bainitica per un tempo troppo breve per originare una quantità apprezzabile di bainite (si tenga presente anche il fatto che la velocità con la quale si forma la bainite decresce rapidamente al diminuire della temperatura).



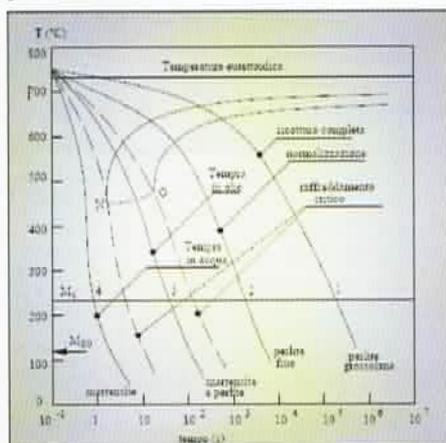
Per quanto riguarda la posizione e la forma delle curve anisotermiche in funzione del contenuto di carbonio e della presenza di elementi di lega nell'acciaio (cromo ed altro), valgono le considerazioni già fatte a proposito delle curve isotermitiche, cioè tutte le curve vengono spostate verso destra e compaiono le curve relative alla formazione della ferrite.

A titolo di esempio, con riferimento a un acciaio al carbonio consideriamo il grafico seguente, ed in particolare osserviamo alcune linee corrispondenti a velocità di raffreddamento crescenti e le relative microstrutture ottenibili.



La curva "1", propria di una ricottura completa, rappresenta un raffreddamento molto lento, generalmente realizzato in forno, che porta l'acciaio a temperatura ambiente in circa 24 ore. La trasformazione dell'austenite inizia a temperatura vicina a quella di austenizzazione e la struttura ottenuta è perlite grossolana, similmente a come è prodotta da una trasformazione eseguita in condizioni di equilibrio.

La curva "2", propria di una normalizzazione, rappresenta un trattamento termico in cui l'acciaio è raffreddato all'aria. Si ha una velocità media di raffreddamento più elevata rispetto alla curva "1". La trasformazione dell'acciaio avviene tra 600 °C e 550 °C e la struttura finale è ancora perlite, più fine in confronto al caso precedente.



La curva "3", propria della tempra in olio, rappresenta un raffreddamento con una velocità ancora più elevata ed è ottenuta mediante immersione



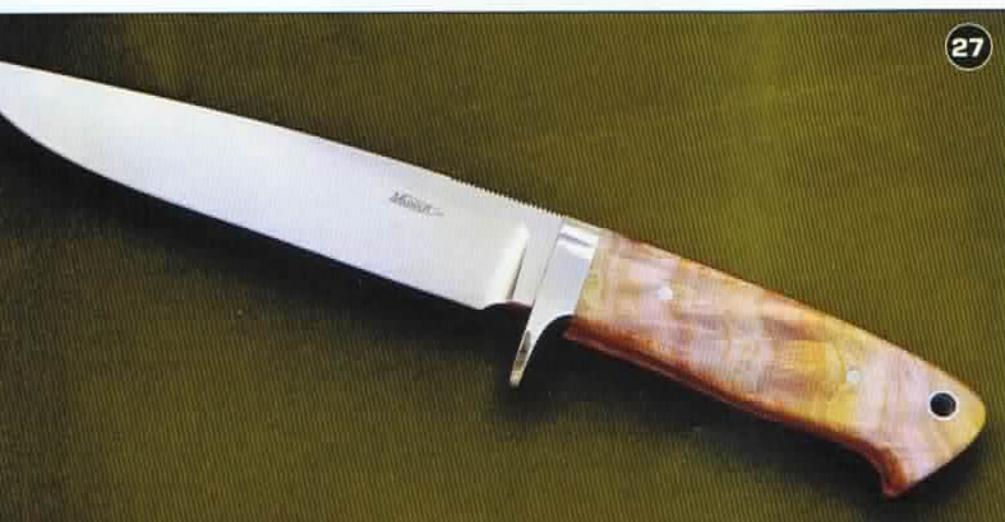
dell'acciaio appunto in olio. La microstruttura ottenuta è costituita da perlite e martensite.

La curva "4", propria di una tempra in acqua, rappresenta un raffreddamento con velocità così grande che la perlite non è in grado di formarsi e la struttura è interamente martensitica.

**23. Durometro con scala Rockwell per la misura della durezza superficiale dell'acciaio**

**24-25-26-27. Alcuni dei coltelli realizzati da Mainolfi e temprati con la tecnica illustrata**

E' doveroso notare che nei diagrammi CCT le due linee Ms e Mf non continuano all'infinito ma oltre un certo tempo "svaniscono" poiché esiste una velocità critica inferiore definita da tempi più lunghi ed a partire dalla quale non si ha più trasformazione martensitica. ◆



Questi studi sono stati forniti direttamente da Riccardo Mainolfi (PER INFO: tel. 3493586416 [www.mainolfiknife.com](http://www.mainolfiknife.com))

#### BIBLIOGRAFIA:

"Metallurgia" di Walter Nicodemi.  
"Gli acciai Inox" di Caprio Gabriele.