

---

## Trattamenti termici degli elementi di collegamento

White Paper

# Trattamenti termici degli elementi di collegamento

---

di Fadi Saliby

Bossard Expert Team  
Bossard Canada

[www.bossard.com](http://www.bossard.com)

Tutti i diritti riservati © 2024 Bossard

Le raccomandazioni e i consigli descritti devono essere adeguatamente verificati dal lettore nell'utilizzo pratico ed essere approvate come idonee alle proprie applicazioni.

Con riserva di modifiche.



ASSEMBLY  
TECHNOLOGY  
EXPERT

## TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ELEMENTI DI COLLEGAMENTO

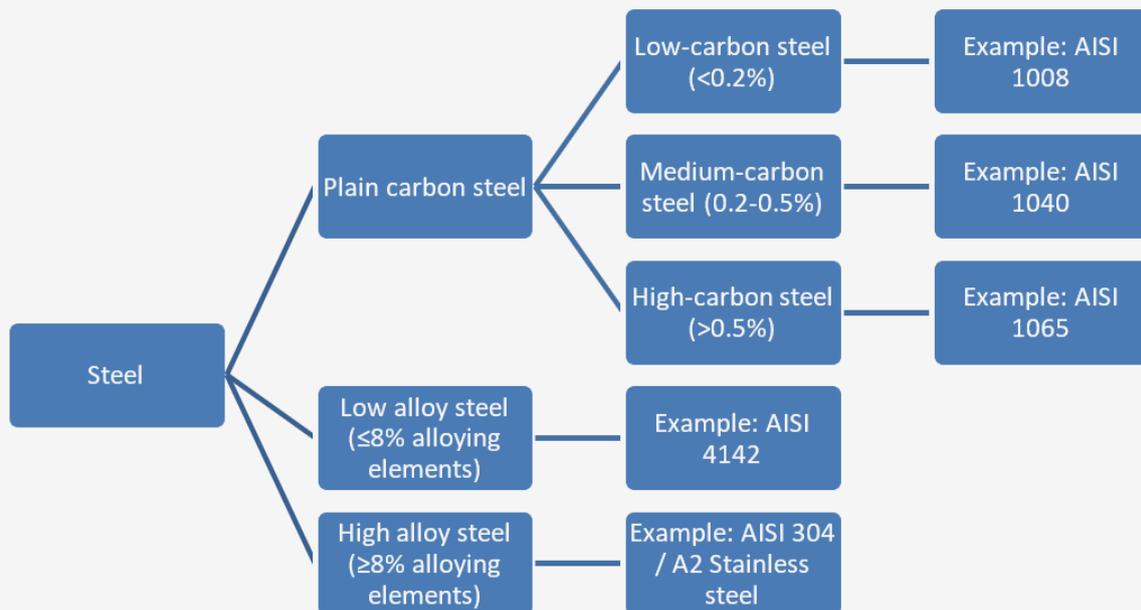
# Introduzione

Gli elementi di collegamento sono disponibili in diversi materiali, la cui scelta dipende dall'applicazione e dall'ambiente. L'acciaio e l'acciaio INOX sono le tipologie di materiale più comuni, ciononostante sono disponibili anche l'alluminio e i metalli non ferrosi. A seconda del materiale selezionato, sono necessari processi differenti per conseguire le proprietà meccaniche adatte. I trattamenti termici sono processi volti a incrementare la resistenza meccanica, la duttilità, la tenacità e, per alcune leghe, la resistenza alla corrosione. Le seguenti

sezioni illustrano alcuni esempi di materiali che richiedono un trattamento termico prima di essere messi in servizio.

### Acciai

Il gruppo di materiali più utilizzato per la fabbricazione degli elementi di collegamento comprende gli acciai legati e non legati. Gli acciai sono classificati in:

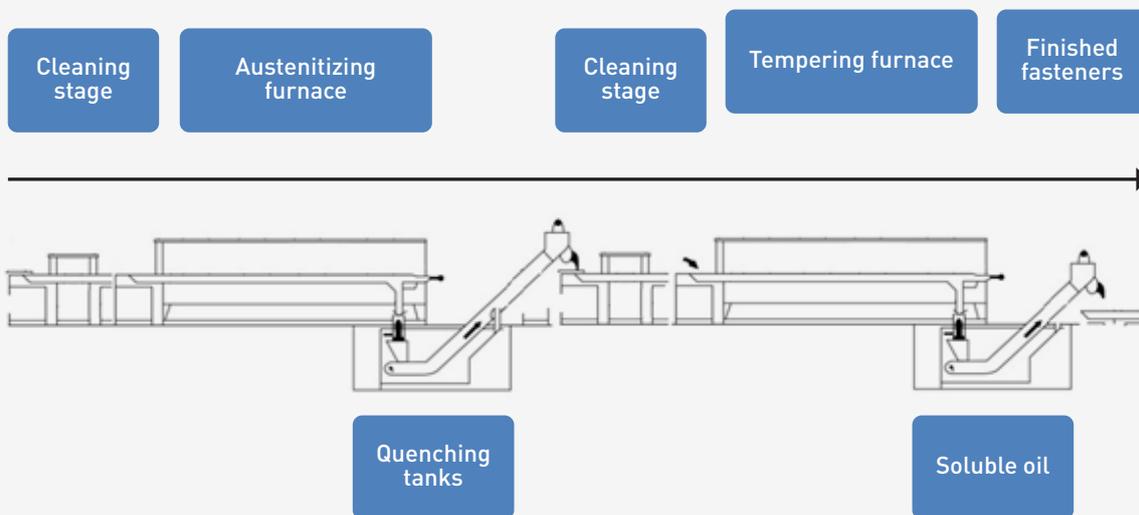


Classi acciai

Prima della fabbricazione degli elementi di collegamento, sul filo di acciaio viene eseguito un trattamento termico successivo per agevolare lo stampaggio a freddo. Tale trattamento è chiamato ricottura di globalizzazione e serve ad addolcire l'acciaio, migliorare lo stampaggio a freddo e ridurre il costo delle attrezzature. Dopo lo stampaggio dell'elemento di collegamento, l'acciaio impiegato possiede una maggior resistenza meccanica dovuta alla deformazione, tuttavia non è in grado di soddisfare i requisiti delle classi ad alta resistenza [grado 8 / classe 10.9 / classe 12.9].

Gli elementi di collegamento appena stampati saranno poi sottoposti a un trattamento termico in due fasi: tempra e rinvenimento:

## Tempra e rinvenimento



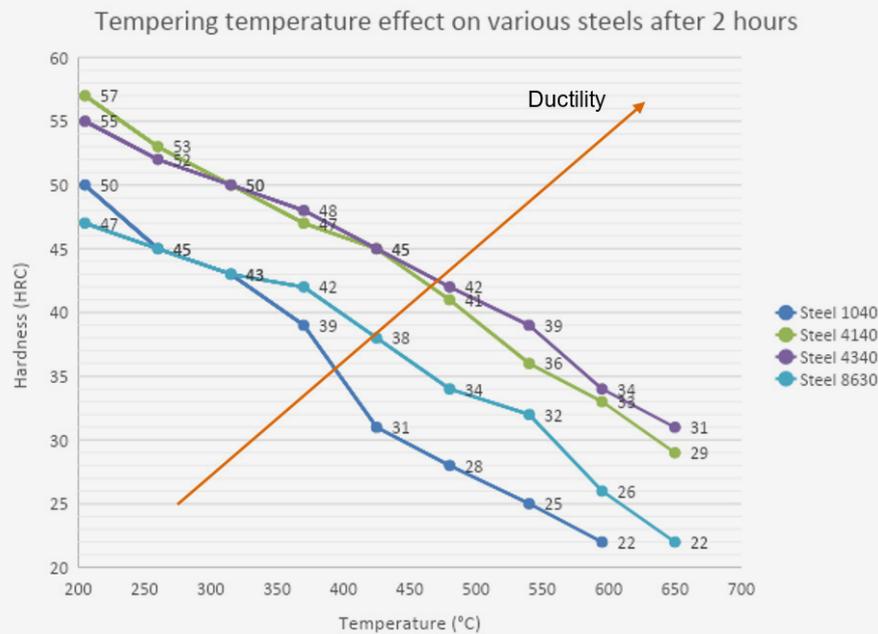
### Tempra e rinvenimento

Questo è il trattamento termico più comunemente usato nel settore. Il processo di tempra prevede il riscaldamento degli elementi di collegamento, di norma fra 815 e 870 °C per una determinata durata, seguito da un raffreddamento per creare una microstruttura più dura e più resistente, chiamata martensite. I fluidi di raffreddamento più comunemente impiegati sono l'olio e l'acqua. La formazione della microstruttura martensitica determina:

- maggiore resistenza meccanica,
- tensioni residue,
- minore duttilità,
- riduzione della tenacità.

Successivamente, viene eseguito un trattamento termico di rinvenimento. Il rinvenimento riduce leggermente la durezza degli elementi di collegamento, contribuisce ad aumentare la duttilità, migliora la tenacità e la stabilità dimensionale.

La durezza desiderata può essere ottenuta regolando le temperature e la durata del processo di rinvenimento. La figura 1 mostra alcuni esempi di come le temperature di rinvenimento incidono sulla durezza finale di 4 acciai diversi. La durezza finale richiesta può essere controllata intervenendo sulle temperature e sulla durata del trattamento di rinvenimento.



Effetto della temperatura di rinvenimento (Fonte: ASM Handbook: Volume 4 – Heat treating)

## Acciai INOX

Gli acciai INOX sono classificati come leghe di ferro con minimo il 10,5% di tenore di cromo. Tali acciai possono essere raggruppati nelle 5 seguenti tipologie in accordo all'ISO 3605-1:

| Tipi                         | Composizione chimica   | Proprietà generali   |
|------------------------------|--|--|
| Austenitici                  | Minimo il 16% di cromo e il 6% di nichel   | Moderata resistenza alle temperature e alla corrosione                           |
| Ferritici                    | Cromo compreso tra il 15 e il 18% / ridotto tenore di carbonio                         | Moderata resistenza alla corrosione  |
| Martensitici                 | Cromo compreso tra il 10,5 e il 18% / Nichel fino al 2,5% / elevato tenore di carbonio | Elevate resistenza meccanica e moderata resistenza alla corrosione               |
| Duplex                       | Cromo compreso tra il 19 e il 26% / Nichel compreso tra 1 e 8% / Molibdeno fino a 4,5% | Resistenze meccanica e alla corrosione superiori a quelle degli INOX austenitici |
| Indurenti per precipitazione | Cromo compreso tra 11,75 e 17% / consistenti tenori di nichel e/o di alluminio         | Resistenza meccanica elevata e buona resistenza alla corrosione                  |

**INOX austenitici**

Gli **INOX austenitici** come AISI 304 (18-8, A2) e AISI 316 (A4) non possono essere induriti in seguito a un trattamento termico. Questo tipo di INOX può essere indurito soltanto durante i processi di fabbricazione a causa dello stampaggio a freddo e della rullatura della filettatura. Tale processo di indurimento è chiamato incrudimento. Tuttavia, in alcuni casi, il trattamento termico viene effettuato per ripristinare le proprietà anticorrosive ed eliminare le tensioni residue, originate da altri processi di produzione come la saldatura. L'incrudimento aumenta inoltre la permeabilità magnetica. È possibile eliminare gli effetti di tale processo sui prodotti che richiedono una permeabilità magnetica ridotta effettuando un trattamento termico.

**INOX ferritici**

Gli **INOX ferritici** come AISI 430 possono essere induriti esclusivamente mediante incrudimento. I trattamenti termici non aumentano la resistenza meccanica degli INOX di questo tipo. L'incrudimento durante il processo produttivo riduce però la duttilità, che pertanto dovrà essere ripristinata mediante un trattamento completo di ricottura.

**INOX martensitici**

Gli **INOX martensitici**, come AISI 410, 431, 440A/B/C/F, subiscono gli stessi trattamenti termici degli acciai legati e non legati. Questi tipi di INOX sono temprati in olio o aria.

**INOX duplex**

Gli **INOX duplex**, come SAF 2205 ®(UNS S31803), sono utilizzati nei casi in cui sono richieste un'elevata resistenza meccanica (il doppio del limite di snervamento tipico degli INOX austenitici) e una maggiore resistenza alla tensocorrosione da cloruri. Questa tipologia consiste in una combinazione fra due microstrutture: ferrite e austenite. Il trattamento termico consiste nella ricottura.

**INOX indurenti per precipitazione**

Gli **INOX indurenti per precipitazione** esistono in tre tipologie: martensitici a basso tenore di carbonio, semi-austenitici e austenitici. Ogni tipologia ha il proprio specifico trattamento termico per conseguire le proprietà meccaniche e anticorrosive desiderate. L'indurimento per precipitazione è un trattamento termico che incrementa la resistenza dei materiali e può essere eseguito anche su altre leghe come l'alluminio, il titanio ecc.

## Alluminio

Le leghe leggere si suddividono in trattabili termicamente e non trattabili termicamente. Le leghe leggere non trattabili termicamente corrispondono alle serie 1XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX. La gran parte di esse sfrutta dovuto allo stampaggio a freddo e alla rullatura della filettatura per incrementare la resistenza meccanica. L'aumento della resistenza meccanica è direttamente proporzionale all'incremento del tasso di deformazione. Le leghe leggere trattabili termicamente delle serie 2XXX, 6XXX e 7XXX richiedono un trattamento di solubilizzazione e tempra, seguiti da un trattamento termico di indurimento per precipitazione (invecchiamento) al fine di ottenere le proprietà meccaniche richieste. Il trattamento di solubilizzazione induce gli atomi di lega a posizionarsi fra gli atomi di alluminio senza formare dei composti. Segue un elenco dei più comuni tipi di leghe e trattamenti termici:

| Leghe e tempra | Trattamento termico <sup>1</sup>   | Durezza risultante (HRB) <sup>2</sup> | Resistenza a trazione (MPa) / Limite di snervamento (MPa) / Allungamento (%) minimo su provetta <sup>2</sup> |
|----------------|--|---------------------------------------|--|
| 2024-T4        | Solubilizzato, temprato a 495°C e invecchiato naturalmente (temperatura ambiente)                | 70-85                                 | 427 / 275 / 10   |
| 6061-T6        | Solubilizzato, temprato a 530°C e invecchiato artificialmente a 160°C                            | 40-50                                 | 290 / 241 / 10   |
| 7075-T73       | Solubilizzato, temprato a 490°C e sovrainvecchiato artificialmente (in due fasi: 107 °C + 177°C) | 80-90                                 | 469 / 386 / 10   |

## Titanio

Le leghe di titanio trovano impiego nei casi in cui la protezione dalla corrosione, la resistenza meccanica e un peso ridotto svolgono un ruolo importante. In base alla qualità del titanio, il risparmio di peso è del 40% rispetto ad un acciaio con la stessa resistenza meccanica. Queste proprietà rendono l'utilizzo di questa lega una scelta quasi obbligata per settori come l'industria aerospaziale e l'automobilismo da competizione. Il grado 5 è uno dei gradi di titanio più usati per la produzione di elementi di collegamento. La seguente tabella illustra il trattamento termico e le caratteristiche meccaniche del titanio grado 5:

| Leghe               | Trattamento termico <sup>1</sup>   | Durezza risultante <sup>2</sup> | Resistenza a trazione (MPa) / Limite di snervamento (MPa) / Allungamento (%) minimo su provetta <sup>2</sup> |
|---------------------|--|---------------------------------|--|
| Grado 5 (Ti-6AL-4V) | Solubilizzato a 955-970 °C per un'ora, temprato in acqua e invecchiato per 4-8 ore a 480-595 °C o per 2-4 ore a 705-760 °C | 30-39 HRC                       | 896 / 827 / 10   |

<sup>1</sup> ASM Handbook – Volume 4

<sup>2</sup> ASTM F468

## Leghe di Nickel

Le leghe a base di nichel trovano impiego nei casi in cui è richiesta un'elevata resistenza alla corrosione e alle alte temperature. Esempi di applicazione sono gli aeromobili e le turbine a gas per impieghi sulla terraferma nonché i serbatoi criogenici<sup>5</sup>. Il seguente Inconel® 718 è un esempio di lega utilizzata nella produzione di elementi di collegamento. Tale materiale può essere impiegato in applicazioni da -250 a 700 °C

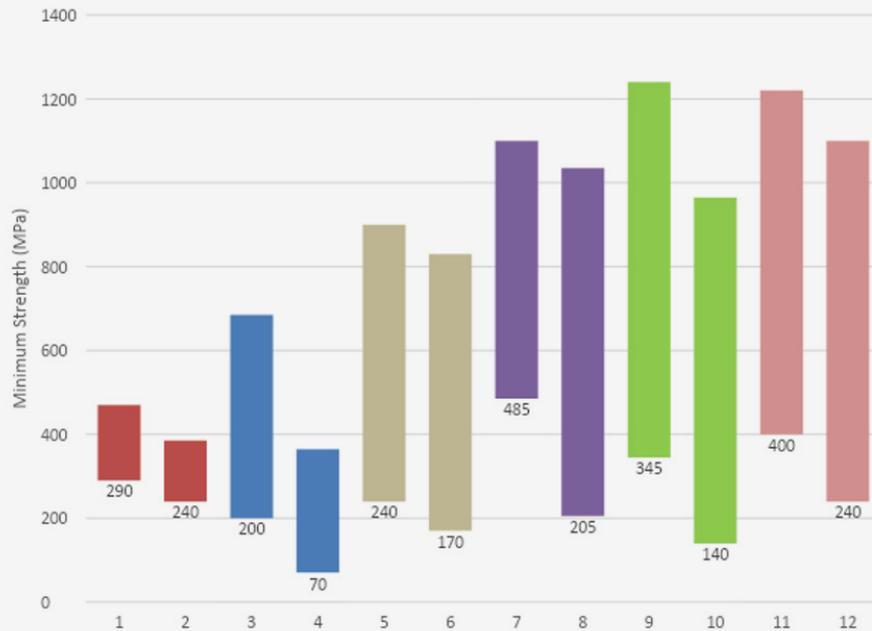
| Lega                    | Trattamento termico <sup>1</sup>   | Durezza minima <sup>2</sup> | Resistenza a trazione (MPa) / Limite di snervamento (MPa) / Allungamento (%) minimo - su provetta <sup>2</sup> |
|-------------------------|--|-----------------------------|--|
| Inconel® 718 (AMS 5662) | Solubilizzato a 980 °C per un'ora, raffreddato in aria e invecchiato a 720 °C per 8 ore; raffreddato in forno a 620 °C mantenuto in forno per l'intero ciclo di indurimento per invecchiamento di 18 ore; raffreddato in aria. | 331 HBW                     | 1275 / 1034 / 12   |

<sup>3</sup> ASM Handbook – Volume 4

<sup>4</sup> ASTM F468

<sup>5</sup> <http://www.specialmetals.com/documents/Inconel%20alloy%20718.pdf>

Il grafico seguente mostra gli intervalli minimi di resistenza meccanica per lega:



#### Resistenza minima

Leghe diverse richiedono trattamenti termici diversi per ottenere le proprietà desiderate. Alcune leghe usate nella fabbricazione degli elementi di collegamento possono essere impiegate senza dover essere trattate. Tuttavia, nei casi in cui l'applicazione necessita di caratteristiche di resistenza meccanica elevate, occorre eseguire correttamente il trattamento termico adatto. Per maggiori informazioni sui trattamenti termici degli elementi di collegamento, non esitate a contattare Bossard.

#### Riferimenti:

1. ASM Handbook – Volume 4
2. ASTM F468
3. ASTM F593
4. ISO 898-1
5. [www.specialmetals.com](http://www.specialmetals.com)



Per ulteriori informazioni potete consultare la nostra pagina dei contatti su [www.bossard.com](http://www.bossard.com) oppure rivolgervi alla filiale locale Bossard