

*Dott. Massimo Barteri (CSM, Roma)*  
*Ing. Vittorio Boneschi (Centro Inox, Milano)*

## **LE POTENZIALITÀ DELL'ACCIAIO INOSSIDABILE NELLE COSTRUZIONI ANTISISMICHE**

Memoria presentata al convegno organizzato da **Promozione Acciaio:**

*“L'acciaio nelle costruzioni civili ed industriali in zona sismica”*  
*Napoli, 6 ottobre 1999*

Manifestazione nell'ambito del congresso:

*“Settimana della costruzione in acciaio”*  
*Napoli, 3-4-5-6-7 ottobre 1999*

# LE POTENZIALITÀ DELL'ACCIAIO INOSSIDABILE NELLE COSTRUZIONI ANTISISMICHE

**M. Barteri (CSM, Roma) – V. Boneschi (Centro Inox, Milano)**

## Introduzione

L'accurata scelta del materiale è certamente uno dei momenti fondamentali per l'adeguamento sismico di un edificio.

Con questa relazione si vuole portare una testimonianza sulle possibilità d'impiego dell'acciaio inossidabile come materiale di ausilio ad una progettazione che tenga in considerazione i fenomeni legati agli eventi sismici.

Si illustreranno le caratteristiche dell'acciaio inox che possono essere sfruttate in tali condizioni (resistenza meccanica, deformabilità, resistenza al fuoco, ecc.), confrontandole con quelle dei tradizionali materiali metallici impiegati nel settore edile.

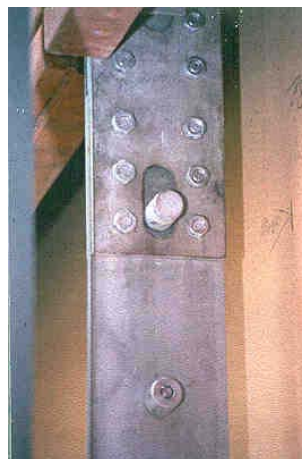
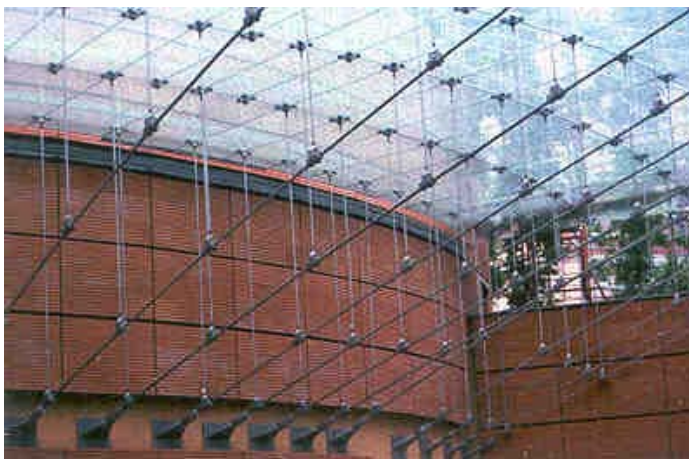
## Premessa: l'inox come materiale strutturale

Tradizionalmente l'acciaio inossidabile viene impiegato per la sua capacità di resistere alla corrosione, per le sue doti di igienicità ed in generale per la sua attitudine a mantenersi inalterato nel tempo.

Sono sempre più numerose le applicazioni in cui l'inox è sfruttato per applicazioni strutturali, per cui viene visto come materiale che resiste anche alla corrosione.

Nel settore edile si possono citare, ad esempio, le barre ad aderenza migliorata per cemento armato, le zanche di ancoraggio per le facciate, i sistemi di fissaggio in genere, le canne fumarie autoportanti, gli elementi per interventi di restauro, componenti strutturali in genere, parti di facciate.

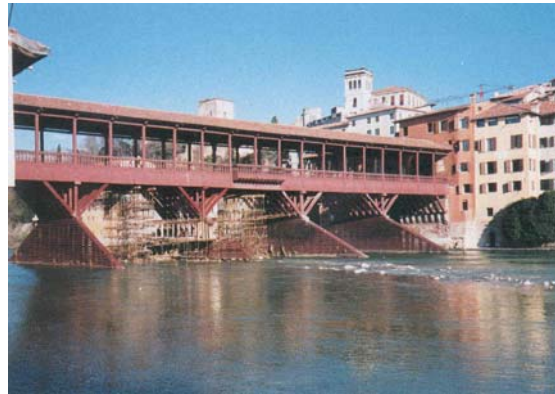
Esistono vari esempi di impiego strutturale dell'acciaio inossidabile; di seguito sono illustrate alcune applicazioni rappresentative che, meglio di ogni descrizione, possono dare un'idea delle risorse, molte volte non pienamente utilizzate, che l'inox possiede:



Acciaio inossidabile utilizzato per tiranti e per le lame di sostegno delle lastre di tamponamento nella banca Popolare di Lodi.



Ancoraggi e profili di sostegno di un tamponamento "a cappotto" eseguito con lastre di marmo.



Ponte di Bassano: per il consolidamento dei vecchi pilastri di sostegno si sono utilizzate barre inox ad aderenza migliorata.



La sommità della chiesa della Madonna delle Lacrime (SR) ed il dettaglio degli elementi strutturali in acciaio inossidabile.



Tiranti di acciaio inox nella chiesa di Vimodrone (MI) e dettaglio dei punti di ancoraggio.

Un'ulteriore testimonianza del crescente interesse dei progettisti per l'acciaio inossidabile viene certamente dalle norme, che generalmente scaturiscono anche dalla necessità di regolamentare prodotti di largo interesse. Senza entrare nel merito dei contenuti, ricordiamo la presenza nel panorama normativo dell'ENV 1993-1-4 (Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-4: General rules – Supplementary rules for stainless steels), e del progetto dell'ENV 1090-6 (Execution of steel structures – Part 6: supplementary rules for stainless steel), nonché di diverse norme, alcune in fase di progetto, per la componentistica come canne fumarie e ancoraggi.

### **Gli acciai inossidabili più usati nel settore edile**

Brevemente ricordiamo che gli inossidabili sono acciai che prevedono una composizione chimica in cui il tenore di cromo raggiunge come minimo il 10,5 % circa; in virtù di ciò è possibile il fenomeno dell'autopassivazione (formazione spontanea del film di passività in presenza di un ambiente ossidante), che rende tale materiale resistente alla corrosione.

La presenza di altri elementi contribuirà ad esaltare determinate caratteristiche; ad esempio il nichel e il molibdeno contribuiscono ad aumentare la resistenza alla corrosione, mentre elementi come lo zolfo e il calcio, in percentuali calibrate, migliorano la lavorabilità alle macchine utensili.

Esistono cinque grandi famiglie di acciai inox: quella dei martensitici (al 12 % cromo), quella dei ferritici (al 17 % cromo), quelle degli austenitici (al cromo-nichel e al cromo-nichel-molibdeno), quella dei PH (precipitation hardening, indurenti per precipitazione) e quella dei duplex o austeno-ferritici.

All'interno di ogni famiglia esistono numerose varianti contraddistinte, come già accennato, dagli elementi presenti in lega e dalle percentuali di questi.

In particolare nel settore edile gli inox più utilizzati sono (usando le sigle delle norme europee EN 10088) gli austenitici 1.4301 (AISI 304) e 1.4401 (AISI 316), con le relative varianti a basso carbonio e stabilizzate, il ferritico 1.4016 (AISI 430) e il duplex 1.4462 (commercialmente noto come 2205). Trova anche applicazione un tipo di acciaio inossidabile ferritico, definito strutturale, al 12% di cromo.

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate le composizioni chimiche e le principali caratteristiche fisico-meccaniche di questi materiali; ricordiamo che, in particolare per gli austenitici, le caratteristiche meccaniche subiscono un notevole incremento per effetto di deformazioni plastiche a freddo, così come riportato nelle sopraccitate norme.

**Tabella 1 : composizione chimica percentuale secondo EN 10088-1 degli acciai inossidabili più usati in edilizia.**

	<b>C</b> <b>max</b>	<b>Mn</b> <b>max</b>	<b>P</b> <b>max</b>	<b>S</b> <b>max</b>	<b>Si</b> <b>max</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Altri</b>
<b>1.4301</b>	0,07	2	0,045	0,015*	1	17÷19,5	8÷10,5	-	N≤0,11
<b>1.4401</b>	0,07	2	0,045	0,015*	1	16,5÷18,5	10÷13	2÷2,5	N≤0,11
<b>1.4016</b>	0,08	1	0,040	0,015*	1	16÷18	-	-	-
<b>1.4462</b>	0,03	2	0,035	0,015	1	21÷23	4,5÷6,5	2,5÷3,5	0,10≤N≤0,22

\* Per barre, fili, profilati e semilavorati il tenore di zolfo può raggiungere lo 0,030%. Per i prodotti da lavorare con macchine utensili si raccomanda ed è concesso un contenuto di S= 0,015÷0,030% .

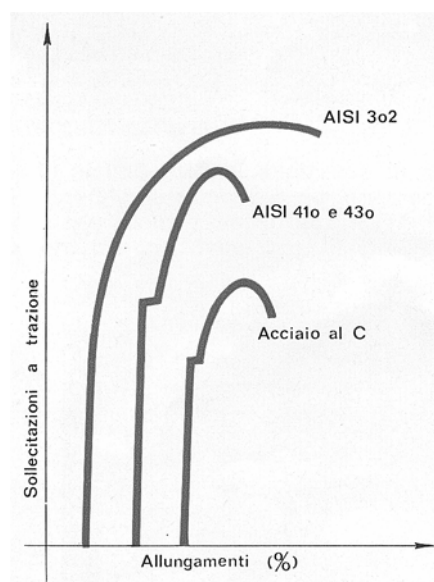
**Tabella 2 : principali caratteristiche fisiche e meccaniche secondo EN 10088 degli acciai inossidabili più usati in edilizia.**

	<b>1.4301</b>	<b>1.4401</b>	<b>1.4016</b>	<b>1.4462</b>
<b>Struttura</b>	<b>Austenitica</b>	<b>Austenitica</b>	<b>Ferritica</b>	<b>Austeno-Ferritica</b>
<b>R<sub>p0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]* (min.)</b>	190	200	240	450
<b>Carico di rottura R<sub>m</sub> [N/mm<sup>2</sup>]*</b>	500÷700	500÷700	400÷630	650÷880
<b>Modulo di elasticità a 20 °C [kN/mm<sup>2</sup>]</b>	200	200	220	200
<b>Allungamento % a rottura*</b>	45	40	20	25
<b>Coefficiente di dilatazione termica tra 20 e 100 °C [10<sup>-6</sup>×K<sup>-1</sup>]</b>	16,0	16,0	10,0	13,0
<b>Conducibilità termica a 20°C [W/m×K]</b>	15	15	25	15

\* Secondo EN 10088-3.

### **Inox materiale antisismico: perché**

E' noto che gli acciai inossidabili, in particolare quelli a struttura austenitica, sono caratterizzati da un'elevata formabilità, in virtù di una notevole capacità di allungarsi prima di arrivare a rottura. Questo fatto è evidente se si osserva in figura 1 il diagramma carichi-allungamenti di un acciaio inox al cromo nichel (AISI 302) e lo si confronta con quello di un acciaio inox ferritico (AISI 430) o martensitico (AISI 410), o con quello di un acciaio al carbonio:



**Figura 1: diagrammi indicativi sollecitazioni-allungamenti per acciai inox e acciaio al carbonio.**

Ovviamente tale capacità di allungamento diminuisce per effetto dell'incrudimento del materiale, ma, come si può notare dalle curve di figura 2 e 3 <sup>(1)</sup>, le risorse dell'inox, rispetto a quelle di un acciaio al carbonio, rimangono comunque tali da consentire ancora notevoli deformazioni:

<sup>1</sup> Dati ricavati dalle prove sperimentali condotte dal CSM di Roma in collaborazione con Acciai Speciali Terni.

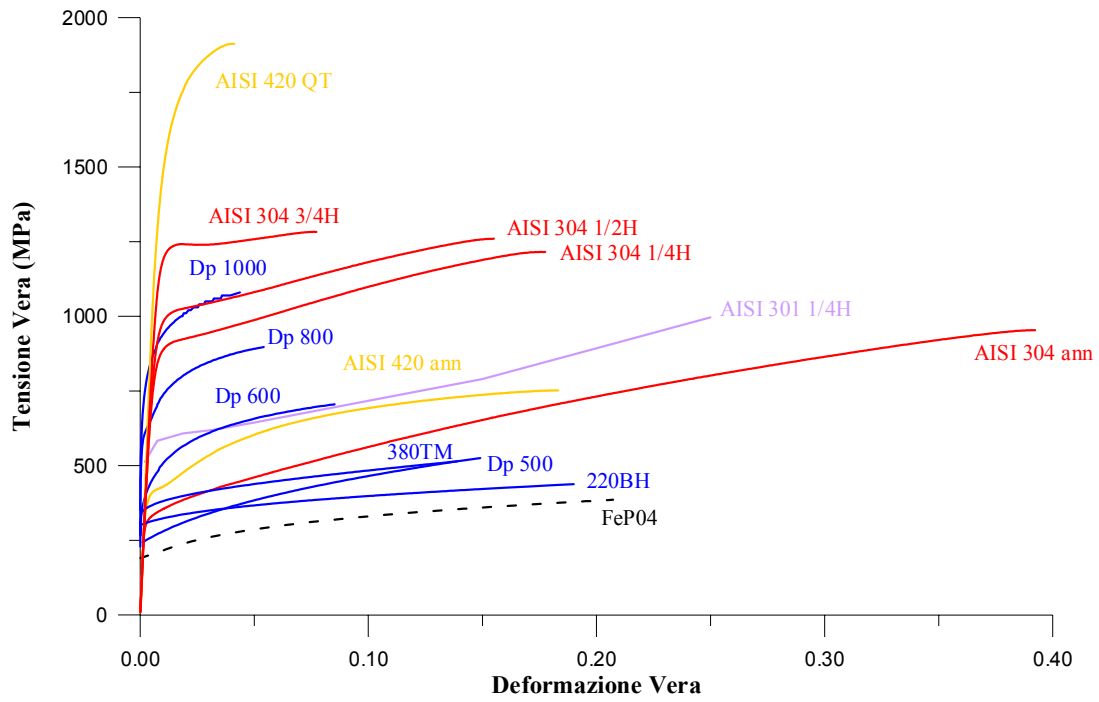


Figura 2: curve  $\sigma$ - $\epsilon$  per acciai inossidabili e acciai al carbonio.

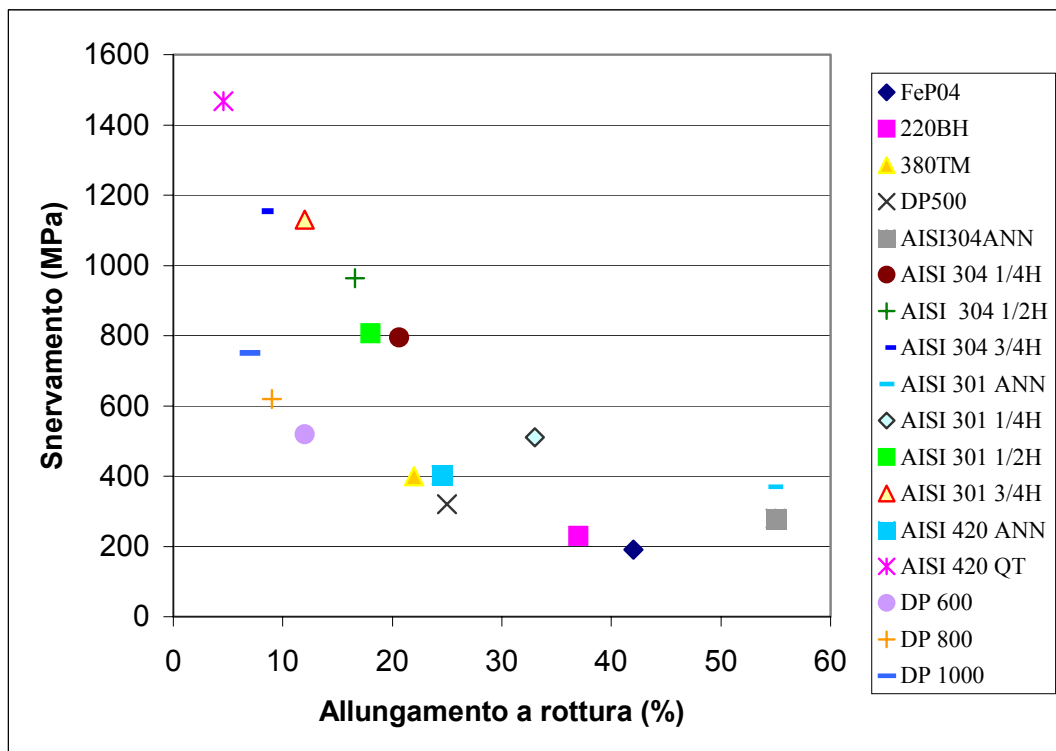


Figura 3: diagramma snervamento-allungamento % a rottura per acciai inossidabili e acciai al carbonio.

A conferma di tutto ciò ricordiamo che, sulla base di prove di valutazione del comportamento di acciaio inossidabile austenitico per barre ad aderenza migliorata, confrontato con il convenzionale Fe B 44 K, in presenza di sollecitazioni alternate e di forte intensità, quali quelle generate da eventi sismici, è stato possibile arrivare a risultati quali quelli qui di seguito riportati <sup>(2)</sup>:

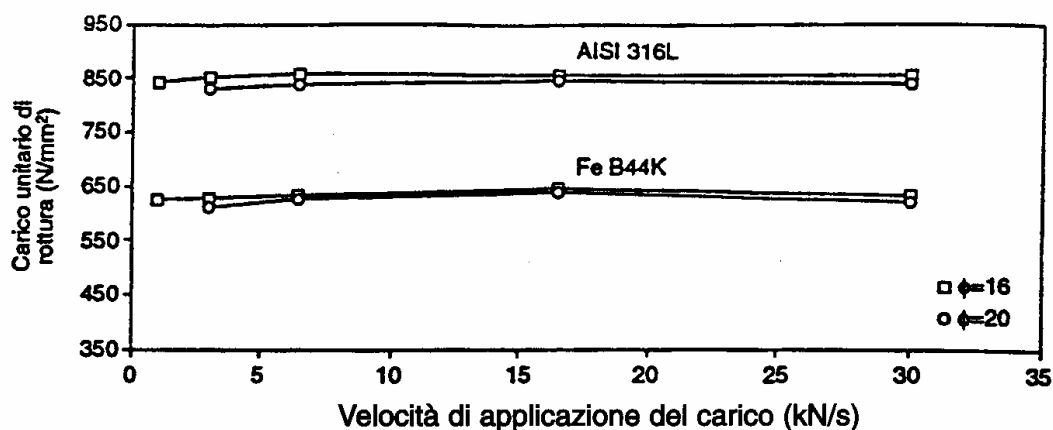


Figura 4: andamento della resistenza a trazione in funzione della velocità di applicazione del carico.

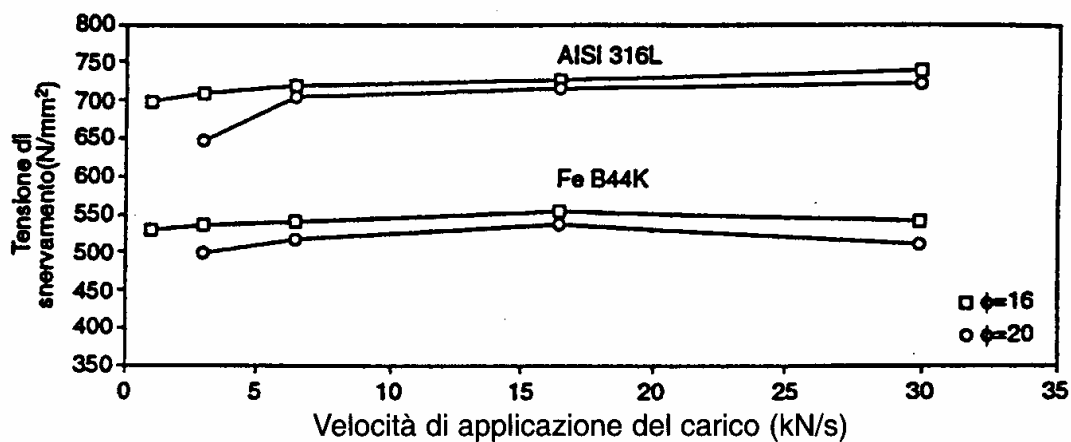


Figura 5: andamento del carico di snervamento in funzione della velocità di applicazione del carico.

<sup>2</sup> Studio effettuato dalle Acciaierie Valbruna in collaborazione con l'Università di Ingegneria di Padova e Roma e di Architettura di Venezia.

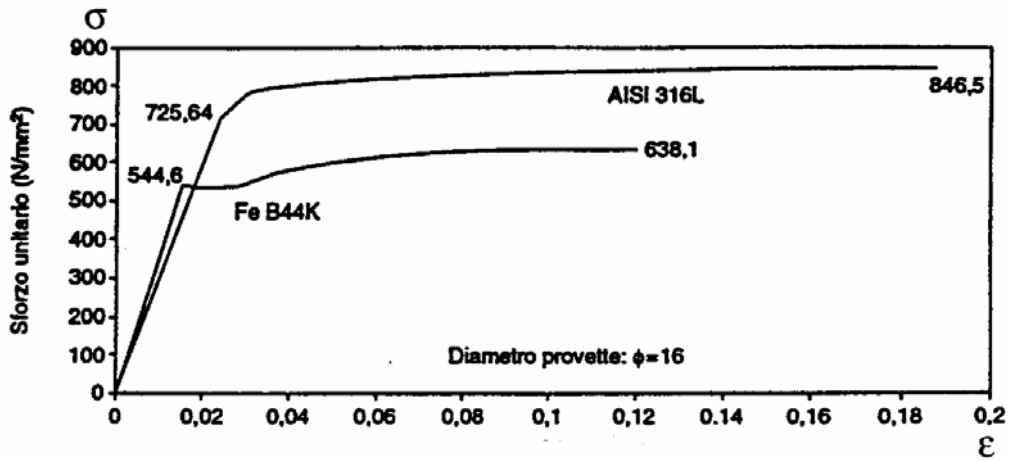


Figura 6: curve monotone di trazione  $\sigma$ - $\epsilon$ . Velocità di applicazione del carico in campo elastico pari a 30kN/s.

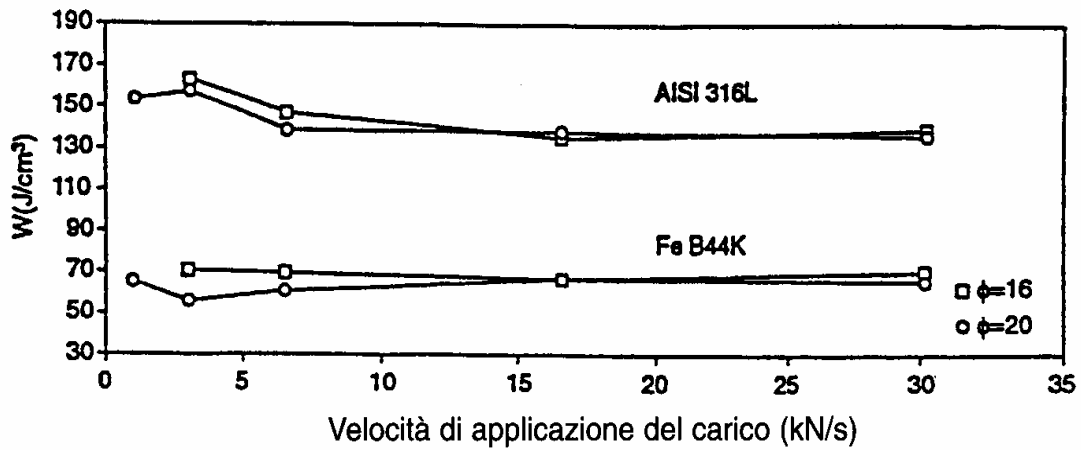


Figura 7: energia specifica di deformazione prima di raggiungere la strizione al variare della velocità di applicazione del carico di trazione in campo elastico.

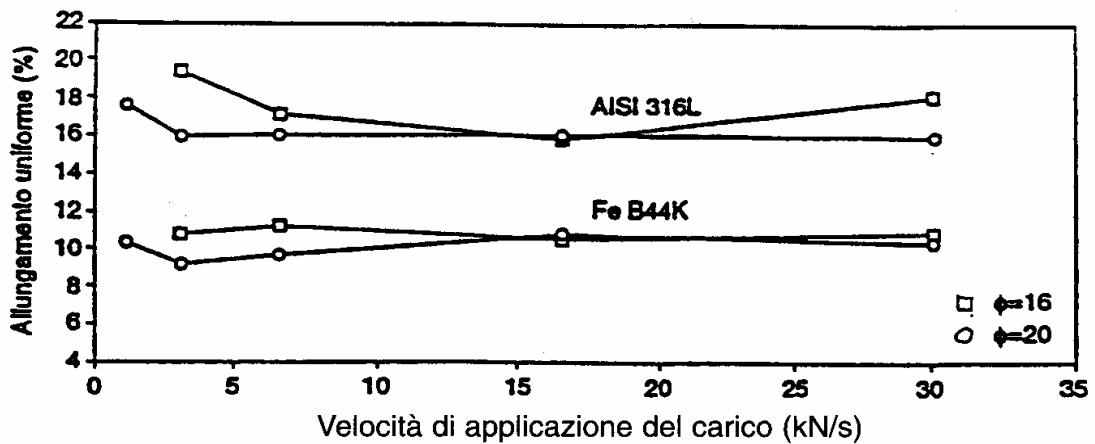


Figura 8: allungamento uniforme al variare della velocità di applicazione del carico in campo elastico.



E' possibile aggiungere le seguenti considerazioni.

Prima di tutto è evidente l'elevata tenacità dell'inox; questo è un elemento basilare per un materiale antisismico, visto che deve essere in grado di dissipare l'energia prodotta dal sisma "trasformandola" in energia di deformazione.

Ricordiamo inoltre che, per gli acciai inossidabili austenitici, tale tenacità è mantenuta pressoché invariata anche alle basse temperature, dato che l'austenite non risente del fenomeno della transizione. Questi acciai mantengono un buon valore di resilienza anche a temperature di molto al di sotto dello zero, senza che ci sia passaggio repentino del comportamento da tenace a fragile (Figura 9):

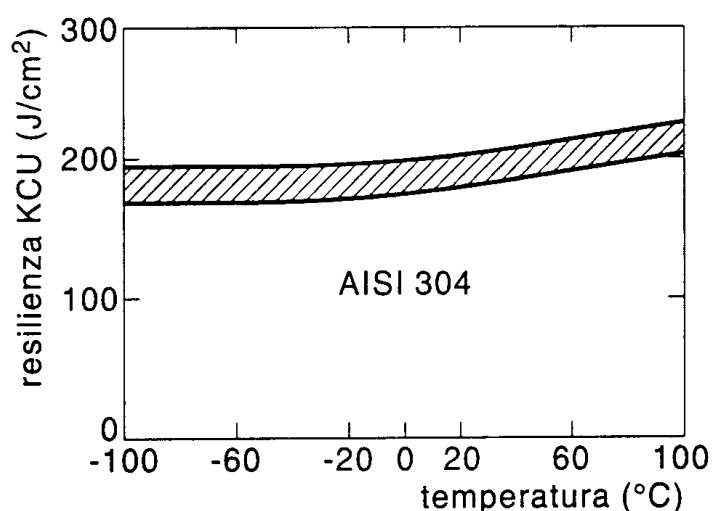


Figura 9: andamento della resilienza con la temperatura per l'AISI 304 (1.4301).

### **La resistenza al fuoco**

Tra i possibili effetti collaterali ad un evento sismico, esiste sicuramente quello della nascita di incendi.

Pare quindi doveroso illustrare brevemente quale sia il comportamento dell'acciaio inossidabile quando sia sottoposto alle elevate temperature.

In primo luogo occorre rilevare che l'inox della serie austenitica (tipo 1.4301, AISI 304) conduce poco il calore, come si può vedere dai dati in tabella 2; di conseguenza, a parità di dimensioni e di geometria, un elemento di acciaio inossidabile avrà un'inerzia termica superiore rispetto a quella di uno in acciaio al carbonio.

Sempre per la serie austenitica, è anche vero che il coefficiente di dilatazione è maggiore rispetto a quello dell'acciaio al carbonio. Quindi le deformazioni dovute all'alterazione termica saranno sensibilmente più elevate.

Da un punto di vista strutturale è importante sottolineare come, da dati ricavati eseguendo prove secondo le prescrizioni contenute nell'Eurocodice 3 (Parte 1-2), l'acciaio inossidabile abbia un ottimo comportamento nelle situazioni di incendio.

In figura 10 sono infatti riportate le curve dell'andamento del fattore di riduzione del carico di snervamento per due acciai inossidabili della serie austenitica (1.4301 e 1.4571) e per l'acciaio al carbonio.

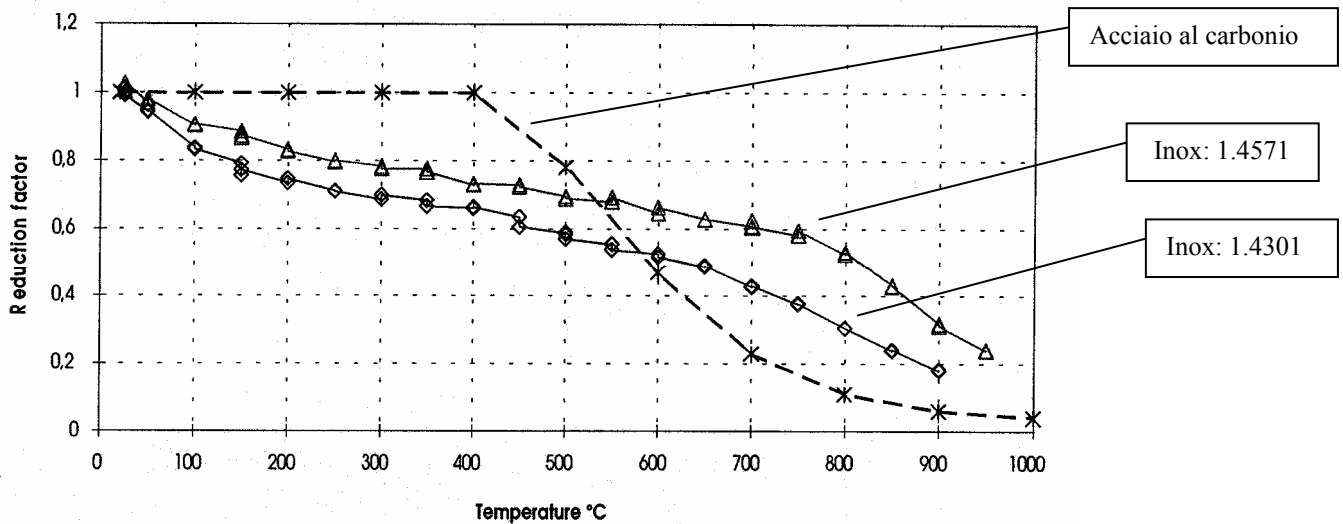


Figura 10: andamento del fattore di riduzione del carico di snervamento in funzione della temperatura.

E' piuttosto evidente come la perdita di resistenza meccanica dell'inox, per temperature superiori ai 500°C, sia inferiore a quella dell'acciaio al carbonio. E' inoltre da rimarcare che alle più alte temperature, 800 °C circa, mentre l'acciaio al carbonio ha esaurito le sue risorse meccaniche, l'inox mantiene ancora circa il 50% della sua resistenza iniziale.

Altro dato molto significativo è quello relativo al modulo di elasticità; dalla figura 11 si rileva come la diminuzione del valore di questo parametro con la temperatura, sia nettamente maggiore nel caso dell'acciaio al carbonio che nell'acciaio inox.

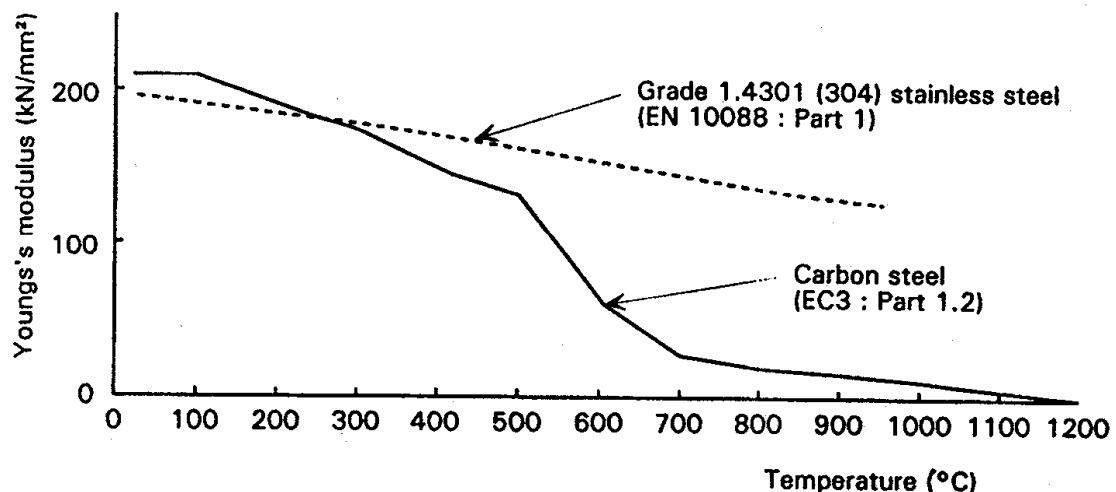


Figura 11: andamento del modulo di elasticità in funzione della temperatura.

Sono reperibili in letteratura anche resoconti di prove condotte su elementi sottoposti a carichi di compressione; anche questi confermano l'ottimo comportamento dell'inox in caso di incendio.

Non dimentichiamo poi che tali caratteristiche sono proprie di un materiale che non necessita di alcun rivestimento protettivo, con tutti i vantaggi che ne possono derivare, come per esempio minori tempi di fabbricazione, assenza di test di verifica degli strati vernicianti, assenza di manutenzione. Si consideri, poi, che la combustione degli strati protettivi genera fumi che vanno ad aggiungersi a quelli sempre presenti in un incendio, influenzando così sui tempi di evacuazione.

### **Conclusioni**

Grazie alle sue caratteristiche fisico-meccaniche, di elevata deformabilità e, naturalmente, di resistenza alla corrosione, l'acciaio inossidabile può costituire una valida alternativa ai materiali da costruzione tradizionali.

Si sono brevemente illustrate quelle peculiarità che rendono l'inox un potenziale ausilio ad una progettazione che tenga in considerazione le problematiche legate ai fenomeni sismici:

- elevate caratteristiche meccaniche
- elevata deformabilità prima della rottura
- capacità di assorbire grosse quantità di energia
- tenacità anche alle basse temperature

Aspetto importante da sottolineare è che, grazie alla sua naturale resistenza alla corrosione e durabilità, l'inox assicura che queste caratteristiche rimangano inalterate nell'intero arco di vita utile del componente, senza bisogno di interventi di manutenzione. Ciò è tanto più rilevante se si inquadra la progettazione anche in un'ottica di Life Cycle Cost (LCC).

Si è anche accennato alla resistenza al fuoco. L'acciaio inossidabile dimostra di avere notevoli risorse anche per quel che riguarda tale problematica, sempre più pressante nell'ambito dei materiali da costruzione.