

L'edizione dell'Eurocodice 3 presa in considerazione è la UNI-ENV 1993-1-1, cioè quella attualmente vigente ed a questa edizione fanno riferimento i capitoli, punti, paragrafi ecc. nel seguito citati; la nuova edizione che uscirà in Italia in data ancora imprecisata e che è stata approvata a Vienna nell'aprile del 2002, verrà nominata solo quando prospetterà modifiche radicali rispetto all'attuale edizione.

La saldatura, nell'Eurocodice 3, viene trattata nei seguenti punti:

- paragrafo 3.3.5. "Elettrodi" (pag. 46) del capitolo 3 "Materiali";
- punto 6.6. "Collegamenti saldati" (pag.158) del capitolo 6 "Collegamenti soggetti a carichi statici";
- capitolo 9 "Fatica"
- punto 2.1. (pag. 243) dell'Appendice C "Progettazione contro la rottura fragile";
- appendice M (pag. 318) "Metodo alternativo" per il calcolo di saldature a cordoni d'angolo.

PARAGRAFO 3.3.5. "ELETTRODI" DEL CAPITOLO 3 "MATERIALI"

In questo punto si fa un breve cenno alla norma di riferimento per gli elettrodi, non ancora uscita all'epoca in cui fu varato l'Eurocodice 3; attualmente le norme, nel frattempo uscite, e di riferimento sono numerose.

Successivamente si precisa che i valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali di apporto non devono essere inferiori a quelli del materiale base; questa precisazione è assolutamente superflua alla luce delle richieste della UNI-EN 288.3 per la qualificazione dei procedimenti (richiamata dalla norma UNI-ENV 1090-1 di cui all'appendice B 2.7).

*Gli stralci di norme UNI sono stati autorizzati dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione - UNI
Via Battistotti Sassi, 11/b
20133 Milano
www.uni.com*

Nella presente nota vengono illustrati i principali aspetti della saldatura come trattata nell'Eurocodice 3 soprattutto dal punto di vista teorico (calcolo, fatica, ecc.).

In particolare sono state messe in luce le importanti novità rispetto alla normativa vigente in Italia nello stesso campo (D.M. 9 gennaio 1996 e CNR UNI 10011/86) e le eventuali diversità quando sono di rilevante importanza.

Welding and Eurocode 3

This note describes the main aspects of welding as dealt with in Eurocode 3, especially from the theoretical point of view (calculations, fatigue, etc). More specifically, we highlight the important new factors introduced with respect to the legislation in force in Italy in the same field (Ministerial Decree and CNR 10011/86 of 9th January 1996) as well as any differences when these are of significant importance.

PUNTO 6.6. "COLLEGAMENTI SALDATI" DEL CAPITOLO 6 "COLLEGAMENTI SOGGETTI A CARICHI STATICI"

Questo punto è quello fondamentale dell'Eurocodice 3 per la saldatura; in esso vengono trattati vari aspetti della saldatura sia come tipologia, sia come resistenza; nel seguito esaminiamo i punti più interessanti alla luce sia dell'importanza che della novità degli argomenti trattati.

Paragrafo 6.6.1. "Generalità"

Non esistono considerazioni particolari, se non il fatto che viene ignorata la saldatura ad elettroscoria e/o elettrogas (peraltro assai poco usata in carpenteria), né c'è alcun riferimento ad altri procedimenti più moderni (laser ibrido, ecc.).

Importanti sono i rimandi ad un documento specifico per spessore inferiori a 4 mm e l'affermazione che le saldature sollecitate a fatica devono rispettare i requisiti del Capitolo 9.

Paragrafo 6.6.2. "Geometria e dimensioni"

Comma 6.6.2.1.

"Tipi di saldature"

Viene data una classificazione delle saldature considerando anche le saldature entro intagli, fori e scanalature; le varie tipologie sono illustrate nel prospetto 6.1. Qui il miglioramento rispetto alla CNR UNI 10011 (nel seguito brevemente CNR UNI) è evidente in particolare per la considerazione

dei giunti di testa a parziale penetrazione; manca tuttavia il riferimento alla UNI EN 29 692 per la preparazione dei lembi. Tale norma riguarda quasi esclusivamente i giunti a piena penetrazione; la mancanza piuttosto grave può essere colmata utilizzando per gli altri tipi di giunti la UNI 11011.

Commi 6.6.2.2. e 6.6.2.3.

"Saldature a cordoni d'angolo"

Si tratta di un paragrafo molto importante che, come del resto i successivi, colma lacune evidenti nella nostra normativa nazionale. Si danno prescrizioni molto dettagliate sulle saldature a tratti e sul tipo di sollecitazioni che possono trasmettere i cordoni d'angolo con figure di esempio molto chiare.

Due affermazioni lasciano un po' perplessi, e cioè:

- Sono permessi angoli minori di 60°, ma in questo caso la saldatura deve considerarsi di testa a parziale penetrazione.
- Per angoli maggiori di 120° i cordoni d'angolo non sono da considerarsi efficaci per la trasmissione di forze.

Ambedue sono affermazioni di difficile comprensione, basti considerare ad esempio le grandi strutture tubolari dei jacket delle piattaforme marine.

Piuttosto, a mio giudizio, per angoli inferiori a 60° si potevano dare i fattori di perdita cioè le riduzioni di gola dovute a incompleta penetrazione (si veda l'AWS.D. 1.1.), e si potevano semplicemente sconsigliare angoli superiori a 120°, a causa della notevole quantità di saldatura

necessaria per ottenere determinati valori di altezza di gola, ovvero consigliare di cianfrinare la lamiera da un lato.

Comma 6.6.2.4.
“Saldature di testa”

L'introduzione dei giunti di testa a parziale penetrazione (contemplata nella nuova edizione del D.M. del 9/1/1996 in corso di preparazione) richiede alcune precisazioni sul loro uso in relazione alle caratteristiche di sollecitazione; tali precisazioni vengono qui chiaramente riportate.

Comma 6.6.2.5. e 6.6.2.6.
“Saldature entro fori intagli e scanalature”

Si tratta della prima guida, nella normativa applicabile in Italia a questo tipo di saldatura, con precisazioni, a mio avviso assolutamente corrette sulla funzione di dette saldature, sulle dimensioni dei fori e sul modo di determinare l'altezza di gola efficace nel caso di scanalature.

A questo proposito si noti che l'Eurocodice 3 prevede l'esecuzione di saggi da sezionare per determinare l'altezza di gola efficace.

Tale tecnica è sicuramente corretta; vi è tuttavia da notare che in altri codici stranieri, ad esempio A.W.S., in casi come quelli riportati nelle figure 6.6.3. e 6.6.4. dell'Eurocodice 3, sono date delle formule, in funzione dei raggi di curvatura degli elementi, che consentono di stimare in via teorica e prudenziale l'altezza di gola senza dover effettuare prove. Ciò comporta una notevole semplificazione anche se gli attuali paragrafi costituiscono una indicazione che colma una grave lacuna della nostra normativa, lacuna che è stata spesso, per diretta mia esperienza, foriera di seri problemi.

Paragrafo 6.6.3.
“Strappi lamellari”

Sono date brevi indicazioni su come evitare questi difetti causati dalle tensioni di saldatura sul trasverso corto delle lamiere.

Pur essendo quello degli strappi lamellari uno dei più noti e temibili problemi delle costruzioni saldate, le indicazioni qui fornite, peraltro assenti sia nella CNR UNI sia nel già citato D.M., sono assolutamente insufficienti per controllare questo problema. Non si fa nemmeno riferimento

alla norma (in fase di preparazione all'epoca di emissione dell'Eurocodice 3) relativa ad una guida generale per la saldatura dei materiali metallici (attualmente EN 1011) che alla parte 2 riporta indicazioni su come evitare questo difetto.

La mancanza sarà sicuramente colmata nella prossima edizione dell'Eurocodice 3 che nella parte 1.10, completamente nuova, fornisce una guida ampia (sia pure in qualche punto criticabile), per affrontare correttamente il problema.

Paragrafo 6.6.4.
“Distribuzione delle forze”

Si tratta di un problema estremamente delicato che riguarda il calcolo dei giunti saldati per unioni semplici, ma anche per unioni complesse con cordoni di saldatura che possono essere contenuti in uno o più piani. Il problema è generalmente risolto per una serie di casi ma, soprattutto quando i cordoni giacciono in piani diversi, non è stato sempre risolto.

Esistono numerosi studi sull'argomento in particolare in sede IIW (International Institute of Welding) mentre, in italiano, esiste il classico testo di Costadaddi e Mazzolani edito dal CISA, ed il testo “Integrità Strutturale delle Costruzioni Saldate” edito dall'Istituto Italiano della Saldatura.

Non mi risulta che su questa complessa e difficile questione vi sia alcun accenno nella CNR UNI.

L'Eurocodice 3 su questo argomento, dà soltanto delle indicazioni di massima nel paragrafo al titolo, che sono ritengo condivisibili almeno sulla base dell'esperienza fin qui acquisita.

E' però da notare che nei punti 6.9 e 6.10. e nelle Appendici J e K dell'Eurocodice 3 sono fornite indicazioni molto precise ed estese sul calcolo rispettivamente dei collegamenti trave-colonna e delle giunzioni di travi reticolari in profilati cavi.

In tal modo l'Eurocodice 3 si pone all'altezza delle normative più evolute sull'argomento.

Paragrafo 6.6.5.
“Resistenza di progetto di saldature a cordoni d'angolo”

Le prescrizioni date ai commi 6.6.5.1. “Lunghezza efficace” e

6.6.5.2. “Altezza di gola” sono quelle dettate dalla buona pratica; desidero qui solo ricordare che al 6.6.5.2. (3) viene indicata la possibilità di tenere conto, nel calcolo dell'altezza di gola dei cordoni di angolo, della profondità della penetrazione (non prevista dalla CNR UNI e dal D.M.) con risparmi per i costruttori che possono essere di notevole entità ed anche con riduzione delle deformazioni delle costruzioni saldate purché si usi prudenza ad evitare peggioramenti sensibili del fattore di forma dei cordoni. La profondità della penetrazione deve essere verificata con prove pratiche, ma successivamente, viene precisato che nel caso di saldatura con arco sommerso l'altezza di gola può essere aumentata del 20% o 2 mm (il più piccolo tra i due) senza necessità di prove preliminari.

Tale punto è stato modificato nel NAD (National Application Document) italiano, che richiede comunque prove preliminari, dal momento che i valori di penetrazione citati nell'Eurocodice 3 non sempre vengono raggiunti, specie nel caso di cordoni di elevate dimensioni realizzati con tecnica multipass, o nel caso di cordoni realizzati con varianti particolari dell'arco sommerso (ad esempio twin-arc).

Comma 6.6.5.3.
“Resistenza per unità di lunghezza”

Le indicazioni per il calcolo qui fornite, nonché il metodo alternativo della appendice M, richiedo per la delicatezza e complessità dell'argomento considerazioni particolareggiate.

Noto innanzi tutto che il metodo alternativo dell'Appendice M, nella nuova edizione dell'Eurocodice 3, verrà considerato un secondo metodo, più preciso del primo e sarà riportato direttamente nel testo.

Il metodo indicato al comma 6.6.5.3. è un metodo approssimato ma molto veloce, dove la risultante di tutte le forze applicate al cordone d'angolo deve essere inferiore alla resistenza di progetto. La resistenza di progetto viene stabilita, indipendentemente dalla direzione delle forze, con una formula dove compare al numeratore $f_{t1} / \sqrt{3}$ (f_{t1} resistenza nominale a rottura dell'elemento più debole

costituente il giunto) e al denominatore $\beta_w \times \gamma_{mw}$ dove β_w è un coefficiente di correlazione variabile da 0,8 a 0,9 secondo il tipo di acciaio e γ_{mw} un coefficiente di sicurezza posto pari a 1,25 nell'Eurocodice 3 e corretto in 1,35 nel NAD italiano.

In sostanza la formula è basata su una sfera che ha per raggio la resistenza al tipo di sollecitazione più critica per il cordone d'angolo, vale a dire la τ perpendicolare; questo metodo molto veloce penalizza soprattutto per sollecitazioni di σ perpendicolare.

Un confronto condotto con la normativa CNR UNI che adotta la sfera DIN, ma tagliata da due piani (la cosiddetta sfera mozza) porta a valori molto simili nel dimensionamento dei cordoni.

Il secondo metodo, proposto attualmente in Appendice è quello del vecchio elissoide ISO, ove però la gola non è ribaltata e

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \lambda (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / \beta_w \cdot \gamma_{mw}$$

e dove il coefficiente λ è stato posto uguale a 3 (come nella CNR UNI 10011 dell'edizione '67) in modo da ottenere una formula di combinazioni delle tensioni in armonia con il criterio di Huber-Henky - Von Mises. In più nell'Eurocodice 3 è stata aggiunta la limitazione

$$\sigma_{\perp} \leq f_u \gamma_{mw}$$

Tale formula, ovviamente, nel caso di presenza dei soli τ perpendicolare o parallelo porta a risultati analoghi al metodo precedente, mentre nel caso di presenza di sola σ perpendicolare porta decisamente a valori più piccoli dell'altezza di gola dei cordoni sia rispetto al metodo precedente, sia rispetto al metodo italiano della sfera mozza.

In caso di presenza di tutte e tre le componenti si ottengono risultati intermedi.

Il primo metodo dell'Eurocodice 3, fortemente criticato in sede di revisione dello stesso, è da considerarsi un metodo molto semplice sia pure più grossolano.

Lo scrivente condivide i criteri dei due metodi ove il secondo deve considerarsi un affinamento del calcolo.

Paragrafo 6.6.6. "Resistenza di Progetto di saldature di testa"

Al comma 6.6.6.1. "Saldatura di testa a piena penetrazione" il

NAD italiano introduce i giunti di prima e seconda classe (previsti dal CNR UNI adottando per essi γ_{mw} rispettivamente di 1,05 e 1,20 contro l'1,25 dell'Eurocodice 3.

E' interessante notare come l'Eurocodice 3 nella parte 1.1 non parli assolutamente di classi delle saldature riferite alla difettologia. Di difettologia si parla nell'Appendice H della UNI ENV 1090.1 (norma di riferimento B.2.7. dell'Appendice B dell'Eurocodice 3), dove vengono dati i criteri di accettazione dei difetti in saldatura, sulla base della UNI EN 25817, per saldature non sottoposte a fatica.

Nell'Appendice 5 (ponti) della 1090 vengono dati criteri di accettazione dei difetti delle saldature sottoposte a carichi affaticanti, basate sempre su criteri della UNI EN 25817.

Queste ultime norme (tranne la 25817) non erano uscite alla data di emissione dell'Eurocodice 3.

Si osserva a questo proposito che le differenze tra i livelli di qualità dei due tipi di giunti secondo CNR UNI o D.M. e Eurocodice 3 sono piuttosto rilevanti; la CNR UNI fa riferimento al raggruppamento B e F della UNI 7278-74 riguardante il controllo radiografico ed Eurocodice 3 fa riferimento al livello B e C (con alcune eccezioni) della UNI EN 25817 ove compare una classificazione dei difetti sulla base delle loro reali dimensioni.

Purtroppo come già accennato le differenze tra i due criteri (italiano e dell'Eurocodice) non consentono di fare paragoni sia pure di tipo qualitativo.

Data la commistione creata dal NAD italiano tra i due criteri bisognerebbe o che il NAD italiano si adeguasse ai criteri di accettazione dei difetti dell'Eurocodice, ovvero è meglio che venisse fatto un accurato paragone, non possibile in questa sede, tra i due criteri ed una attenta analisi dei documenti scientifici che li supportano al fine di operare una scelta tecnicamente valida.

Da notare inoltre che i criteri di accettazione dei difetti adottati devono essere trasferiti a tipi di controllo diversi da quelli per cui sono stati concepiti.

A livello di normativa europea un tentativo è stato fatto con la UNI EN 12062.

Qualora il NAD italiano conser-

vasse i criteri della UNI CNR (o D.M.) bisognerebbe studiare un documento analogo per i controlli soprattutto per quello ultrasonoro.

Sempre al comma 6.6.6.1. il NAD italiano prevede, secondo me, molto opportunamente, la possibilità di declassamento dei giunti di testa a completa penetrazione a giunti di testa a parziale penetrazione, a seguito di mancanza di penetrazione rilevata con i controlli. Si tratta evidentemente di un'opportunità data al costruttore di evitare, ovviamente sentito il progettista, il rifacimento del giunto a seguito di errore nell'esecuzione dello stesso. Il comma 6.6.6.2. "Saldature di testa a piena penetrazione", riporta in (4): "Quando la preparazione della saldatura è del tipo a U, V, J o a smusso, l'altezza di gola deve essere presa pari alla profondità nominale della penetrazione meno 2 mm, salvo che un valore maggiore si dimostri giustificato da prove preliminari". Tale norma, molto cautelativa, è a mio avviso eccessivamente penalizzante per il costruttore, ed è stata modificata nel NAD italiano precisando che l'altezza di gola è quella teorica adottando le preparazioni della UNI 10011 mentre per preparazioni diverse, o se si vuole tenere conto della penetrazione, bisogna effettuare prove preliminari.

Il paragrafo 6.6.3. è di grande importanza in quanto indica le metodologie di calcolo per i giunti di testa a T, ove i giunti a piena penetrazione e quelli saldati dai due lati con una mancanza di penetrazione inferiore o a $t/5$ (t spessore dell'anima) o 3 mm (il minore tra i due) possono essere calcolati come i giunti di testa a piena penetrazione purché la somma delle altezze di gola dei due cordoni sia maggiore o uguale a t .

In caso contrario il giunto va calcolato come composto da cordoni d'angolo.

Il NAD italiano precisa come deve essere calcolata la mancanza di penetrazione, ovvero l'altezza di gola dei cordoni d'angolo nei due casi.

Precisa inoltre il NAD che i giunti di testa a T a parziale penetrazione saldati dai due lati, per essere calcolati come i giunti di testa a piena penetrazione, vanno

controllati con ultrasuoni con i criteri dei giunti di seconda classe ammettendo inoltre una mancanza di penetrazione continua pari a 3 mm o a $t/5$ (quello dei due più piccolo); il calcolo va condotto con γ_{mw} pari a 1,20.

Infine il NAD chiarisce che i giunti di testa t saldati da un solo lato vanno calcolati come i giunti di testa a piena penetrazione se realizzati in tal modo (penso si sottintenda controllo con ultrasuoni come giunti di seconda classe e γ_{mw} pari a 1,20), mentre ove presente mancanza di penetrazione si calcolano come i giunti con cordone d'angolo indipendentemente dall'entità della mancanza di penetrazione.

Questa la sintesi delle regole che si prestano a molte ed approfondite discussioni; qui mi limito per brevità ad osservare quanto segue (visto l'allegato 5, "Ponti" della UNI ENV 1090.1, la UNI EN 25817, l'Eurocodice 3 ed il prospetto 9.8.5 dello stesso Eurocodice 3).

Giunti a T saldati dai due lati

- Se il controllo con ultrasuoni rivela mancanza di penetrazione al cuore continua o no maggiore come altezza di $t/5$ o 3 mm, e altri difetti rientranti nella seconda classe, il giunto va calcolato come costituito da due cordoni d'angolo ed, a fatica, andrebbe considerato di categoria 36 (si veda tab. 9.8.5 dello stesso Eurocodice 3), dico andrebbe in quanto per quello che è previsto (vedere più avanti Capitolo 9 - Fatica) come difettologia alla appendice H delle UNI ENV 1090-5 i difetti dovrebbero rientrare nel raggruppamento B della UNI EN 25817.
- Se il controllo con ultrasuoni rivela mancanze di penetrazione al cuore e altri difetti tutti rientranti nei limiti della seconda classe, ma non in quelli della prima, il giunto va calcolato come un giunto di testa a piena penetrazione di seconda classe ma, a fatica, andrebbe ancora considerato di categoria 36 (si veda sempre la tab. 9.8.5 dell'Eurocodice 3) salvo le riserve sopra espresse.
- Se il controllo con ultrasuoni rivela difetti rientranti nei limiti della prima classe il giunto va

sempre calcolato come un giunto di testa a piena penetrazione di prima classe e, a fatica, va considerato di categoria 71 (si veda sempre la tab. 9.8.5).

Giunti a T saldati da un lato solo

- Se il controllo con ultrasuoni ed eventualmente quello visivo rivelano mancanze di penetrazione al vertice di qualsiasi entità ed altri difetti rientranti nella seconda categoria, il giunto va considerato come un cordone d'angolo ed, a fatica, andrebbe considerato di categoria 36 (vedere i richiami sopra riportati).
- Se il controllo con ultrasuoni ed eventualmente quello visivo non rivelano mancanze di penetrazione al vertice e gli altri difetti rientrano nella seconda classe, il giunto va calcolato come un giunto di testa a piena penetrazione di seconda classe ma, a fatica, andrebbe ancora considerato di categoria 36.
- Nel caso i controlli rivelino difetti rientranti nella prima classe il giunto può essere calcolato come un giunto testa-testa di prima classe, però non è chiaro quale categoria a fatica gli andrebbe attribuita (probabilmente la 71).

Paragrafi 6.6.7. / 6.6.8. / 6.6.9

Le prescrizioni date al comma 6.6.7. "Resistenza di progetto di saldatura entro fori o intagli" sembrano ragionevoli e coincidenti con le regole della buona pratica; averle finalmente messe per iscritto consente di evitare possibili errori.

Le prescrizioni dei commi 6.6.8. e 6.6.9. "Giunti a piattabanda non irrigiditi" e "Giunti paralleli alla direzione delle forze prevalenti" forniscono metodi di calcolo, in casi particolari come quelli dei giunti con piattabande non irrigidite ed in casi più frequenti come quelli dei giunti paralleli alle forze (si vedano a questo proposito anche le considerazioni già fatte a proposito del punto 6.6.4.).

PUNTO 6.7. "COLLEGAMENTI DEL TIPO MISTO"

Viene qui presentata una innovazione importante rispetto al punto 5.4. della CNR UNI^(*); per l'esattezza in (1) viene riportato quanto

previsto al citato punto 6.5., ma in (2) è precisato che una eccezione a questa norma si può fare, per collegamenti progettati per resistere ad attrito allo stato limite ultimo assumendo che l'azione di taglio si ripartisca tra bulloni ad alta resistenza pretesi e saldature, purché il serraggio finale dei bulloni avvenga dopo il completamento della saldatura.

Questa prescrizione è evidente; in caso contrario i ritiri di saldatura presolleciterebbero il giunto ad attrito, impedendo a questo di assumersi la parte di carico prevista a progetto.

La collaborazione fra i due tipi di collegamento è ormai acquisita da anni a fronte di specifiche ricerche.

CAPITOLO 9. "FATICA"

Il problema come ognuno sa è estremamente complesso e non viene trattato in questa sede compiutamente esulando dagli scopi di questo articolo. Mi limito ad alcune osservazioni relative ai giunti saldati:

Livelli di accettabilità dei difetti dei giunti saldati

Al comma 9.3.4. (1) pag.209 dell'Eurocodice 3^(**) si afferma che i valori raccomandati di γ_{mf} presuppongono che i livelli di qualità dei dettagli costruttivi saldati sottoposti a fatica corrispondono a quanto definito nella norma n.9 appendice B dell'Eurocodice 3.

Successivamente a pag. 215^(***), commi 9.6.1. (4) e (7) si afferma che le curve di fatica includono gli effetti di dimensioni e forma delle discontinuità nelle saldature accettabili, mentre le disconti-

(*) CNR UNI 10011

5.4 - Giunti di tipo misto

In uno stesso giunto è vietato l'impiego di differenti metodi di collegamento di forza (per esempio saldatura e bullonatura o chiodatura); tale impiego contemporaneo di più metodi è però ammesso purché uno solo di essi sia in grado di sopportare l'intero sforzo o se la capacità ultima della giunzione è determinata sperimentalmente sulla base di almeno 10 campioni.

(**) UNI ENV 1993-1-1

9.3.4. Valori raccomandati di γ_{mf}

(1) I valori raccomandati in questo punto presuppongono che siano applicate procedure di controllo qualità per assicurare che la fabbricazione dei dettagli costruttivi corrisponda ai relativi requisiti di qualità per le strutture soggette a fatica come definito nella norma di riferimento n. 9; vedere l'appendice B.

nuità sono definite nella norma di riferimento n.9 appendice B. Si deduce che tale norma è l'attuale UNI ENV 1090.1 che nell'appendice H definisce i livelli dei difetti di saldatura accettabili per le strutture non soggette a fatica. Ma come già ricordato la UNI ENV 1090.5 (Esecuzione di strutture di acciaio - Regole supplementari dei Ponti), definisce i limiti delle imperfezioni delle saldature per le strutture soggette a fatica quali appunto i ponti; tali limiti sono, con alcune varianti, quelli del livello B della UNI EN 25817.

Se ne conclude che per tutti i giunti saldati riportati nei particolari dei prospetti 9.8. ecc. dell'Eurocodice 3 i livelli di accettabilità dei difetti sono quelli prima indicati, salvo diverse esplicite prescrizioni.

Bisogna tuttavia rilevare alcune contraddizioni:

- Nella tabella 9.8.3. al particolare di categoria 112 (giunti testa-testa rasati) si afferma che al particolare si può attribuire la categoria 125 quando si è verificato il soddisfacimento delle tolleranze della norma di riferimento n.9 livello di qualità 3.

- Nella tabella 9.8.5. al particolare di categoria 71 (giunti a croce a piena penetrazione) si dice che la saldatura va ispezionata e trovata esente da discontinuità al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n.9 livello di qualità 3.

Poiché il livello di qualità 3 (il più severo) non può che corrispondere al livello B della 25817, già richiamato per tutte le saldature, ci troviamo evidentemente nel primo caso di fronte ad un errore e nel secondo caso di fronte ad una ovvietà (ripetuta in altri punti), tanto è che nella nuova edizione la prima frase citata è stata soppressa.

(****) 9.6. resistenza a fatica

9.6.1. Generalità

(4) Le curve sono basate su indagini sperimentali rappresentative ed includono quindi gli effetti di:

- concentrazioni locali di tensione dovute alla geometria della saldatura;
- dimensione e forma delle discontinuità accettabili;
- direzione delle tensioni;
- tensioni residue;
- condizioni metallurgiche;
- in alcuni casi, i processi di saldatura ed i trattamenti migliorativi successivi alla saldatura.

(7) I livelli di discontinuità accettabili sono definiti nella norma di riferimento n.9: vedere l'appendice B.

Prospetto 9.8.6 - Profilati cavi - Foglio 1 di 2 (*)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
150		1 - Elementi non saldati	1 - Spigoli vivi e difetti superficiali da eliminare mediante rettatura
140		2 - Saldature longitudinali automatiche di composizione (per tutti gli altri casi vedere il prospetto 9.8.2)	2 - Senza interruzioni/punti di ripresa ed esente da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3
71		3 - Saldature testa a testa di profilati cavi a sezione circolare	3 e 4 - Altezza del sovrappiombino minore del 10% della lunghezza della saldatura, con transizione graduata alla superficie della piastra
56		4 - Saldature testa a testa di profilati cavi a sezione rettangolare	- Saldature eseguite in piano, ispezionate e trovate esenti da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 - Elementi con spessore di parete maggiore di 8 mm possono essere classificati di due categorie superiori
71		5 - Profilati cavi a sezione circolare o rettangolare saldati con cordoni d'angolo ad altri profilati	5 - Saldature non soggette a carichi - Larghezza della sezione parallela alla direzione della tensione s: 100 mm - Per tutti gli altri casi vedere prospetto 9.8.4

*) (t ≤ 12,5 mm)

Prospetto 9.8.6 - Profilati cavi - Foglio 2 di 2 (*)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
50		6 - Saldatura di testa di profilati cavi a sezione circolare su flangia intermedia di collegamento	6 e 7 - Saldature soggette a carichi
45		7 - Saldatura di testa di profilati cavi a sezione rettangolare su flangia intermedia di collegamento	- Saldature ispezionate e trovate esenti da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 - Elementi con spessore di parete maggiore di 8 mm possono essere classificati in una categoria superiore
40		8 - Saldatura a cordoni d'angolo di profilati cavi a sezione circolare testa a testa su flangia intermedia di collegamento	8 e 9 - Saldature soggette a carichi - Spessore di parete minimo di 8 mm
36		9 - Saldatura a cordoni d'angolo di profilati cavi a sezione rettangolare con flangia intermedia di collegamento	

*) (t ≤ 12,5 mm)

Prospetto 9.8.7 - Giunzioni di travi reticolari - Foglio 1 di 2 (m = 5)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
90		1 - Profilati cavi a sezione circolare, giunzioni a K ed a H	
45		2 - Profilati cavi a sezione rettangolare, giunzioni a K ed a H	2 - 0,5 (h ₀ - h) ≤ g ≤ 1,1 (h ₀ - h) - g ≥ 2 t _g - g distanza - eccentricità positiva
71		3 - Collegamenti a K	3 e 4 - Sovrapposizione compressa fra il 30% ed il 100%
56		4 - Collegamenti a K	g ₀ : 100% sovrapposizione, n: eccentricità negativa

*) Per valori intermedi di t_g/t_l, usare l'interpolazione lineare fra la categoria di elementi più vicini.
- Ricordare che i controventi ed i contrafforti richiedono una valutazione a parte della resistenza a fatica.

La seconda frase viene ripetuta altre volte, anche nella nuova edizione, ma a mio avviso tutti i giunti saldati riportati nelle tabelle 9.8. ecc. devono soddisfare i requisiti di cui all'appendice 5 della 1090. E' compito del co-

struttore usare le metodologie costruttive e di controllo che assicurino questi livelli di qualità, anche se evidenti perplessità rimangono per i cordoni d'angolo non controllabili con metodi di volume.

Prospetto 9.8.7 - Giunzioni di travi reticolari - Foglio 2 di 2 (m = 5)

Categoria del particolare	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
71		<p><u>Giunti con elementi diagonali parzialmente sovrapposti (*)</u></p> <p>4 - Collegamenti ad N</p>	<p>Da 1 a 4</p> <ul style="list-style-type: none"> - $l_b, l_t \leq 12,5 \text{ mm}$ - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_0 / l_0 \leq 25$ - $d_0 / l_0 \leq 25$ - $0,4 \leq b_1 / h_0 \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_1 / d_0 \leq 1,0$ - $l_0 \leq 200 \text{ mm}$ - $b_0 \leq 300 \text{ mm}$ - $0,5 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0$ - $0,5 l_0 \leq a \leq 0,25 d_0$ - Eccentricità fuori piano $\leq 0,02 l_0$ oppure $\leq 0,02 d_0$ - Saldatura a cordoni d'angolo con concanità nei controventi con pareti di spessore $\leq 8 \text{ mm}$ - Per pareti di spessore maggiore di 12,5 mm vedere 9.6.3
50			

*) Per valori intermedi di l_b / l_t , usare l'interpolazione lineare fra le categorie di elementi più vicini.
 - Notare che i controventi ed i cornetti richiedono una valutazione a parte della resistenza a fatica.

Prospetto 9.8.5 - Collegamenti saldati con saldature soggette a carichi - Foglio 1 di 3

Categoria del particolare	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
71	<p>1</p>	<p><u>Giunti a croce</u></p> <p>1 - Saldatura di testa a completa penetrazione</p>	<p>1 - Ispezione e trovata esente da discontinuità al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3</p> <p>2 - Sono richieste due valutazioni della resistenza a fatica. La prima, per la cricchia alla radice, è valutata con quanto riportato in 9.4.3 considerando la categoria 36* per σ_{\perp} e la categoria B0 per τ_{\parallel}. La seconda, per la cricchia all'attacco del cordone, è valutata determinando l'ampiezza delle tensioni nelle lamiere che reggono i carichi, categoria 71</p>
36*)	<p>2</p>	<p>2 - Giunti con cordoni d'angolo, a parziale penetrazione e a parziale penetrazione equivalente alla piena penetrazione come definito in fig. 6.6.9(a)</p>	<p>1 a 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il distacco delle piastre che reggono i carichi non deve eccedere il 15% dello spessore della lamiera intermedia
63	<p>3</p>	<p><u>Giunti a sovrapposizione saldati</u></p> <p>3 - Giunti a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo</p>	<p>3 - La sollecitazione nell'elemento principale deve essere calcolata sulla base dell'area mostrata nello schizzo</p>

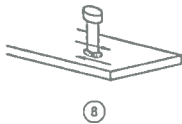
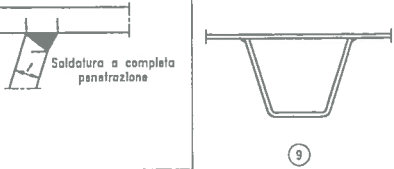
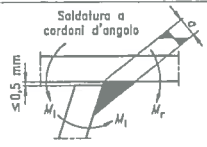
*) vedere 9.7.3.

Prospetto 9.8.5 - Collegamenti saldati con saldature soggette a carichi - Foglio 2 di 3

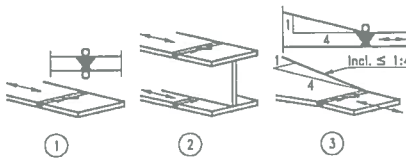
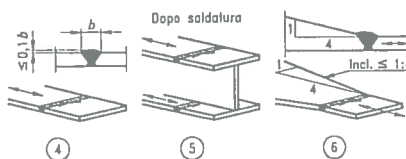
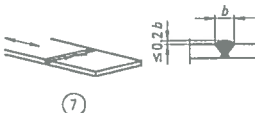
Categoria del particolare	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
45*)	<p>4</p>	<p><u>Giunti a sovrapposizione saldati</u></p> <p>4 - Giunzione a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo</p>	<p>4 - Le tensioni devono essere calcolate negli elementi esterni</p> <p>3 a 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra - La resistenza a rottura o taglio deve essere determinata usando il particolare 7
50*)	<p>5</p>	<p><u>Piastre coprigiunto in travi e travi composte</u></p> <p>5 - Estremità di piastre coprigiunto con saldatura singola o multipla, con o senza saldatura nel tratto frontale</p>	<p>5 - Qualora la piastra coprigiunto sia più larga della piattabanda, è necessaria una saldatura frontale, accuratamente molata per rimuovere le incisioni marginali</p>
36*)			
80	<p>6</p> <p>7</p>	<p><u>Saldature soggette a taglio</u></p> <p>6 - Saldature continue a cordoni d'angolo che trasmettono una forza di taglio continua, quali le saldature fra anima e piattabanda di travi composte. Per saldature di testa continue a completa penetrazione soggette a taglio usare la categoria 100</p> <p>7 - Giunzioni a sovrapposizione saldate a cordoni d'angolo</p>	<p>6 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura</p> <p>7 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura considerando la lunghezza totale della saldatura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra
m = 5		<p>$t > t_c$</p> <p>$> 20 \text{ mm}$</p>	

*) vedere 9.7.3.

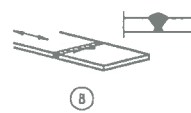
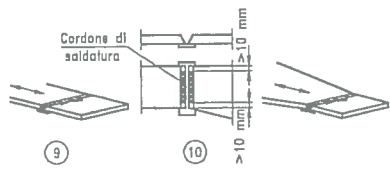

Prospetto 9.8.5 - Collegamenti saldati con saldature soggette a carichi - Foglio 3 di 3

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
80 $m=5$		Saldature spaccante a taglio 8 - Pioli (collasso in zona fusa o in zona termicamente alterata)	8 - Le tensioni tangenziali devono essere calcolate sulla sezione trasversale nominale del piolo
71		Impiombanti trapezoidali saldati alle lamiera di imballata 9 - Saldatura a cordoni d'angolo oppure saldatura di testa a completa o parziale penetrazione	9 - Per una saldatura di testa a completa penetrazione, l'ampiezza delle tensioni di flessione dovrà essere calcolata in base allo spessore dell'irrigiditore - Per una saldatura a cordoni d'angolo o una saldatura di testa a parziale penetrazione, l'ampiezza delle tensioni di flessione dovrà essere calcolata in base allo spessore di gola della saldatura, o allo spessore dell'irrigiditore, se inferiore
50		Saldatura a cordoni d'angolo	

Prospetto 9.8.3 - Saldature di testa trasversali - Foglio 1 di 2

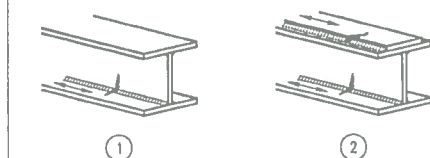
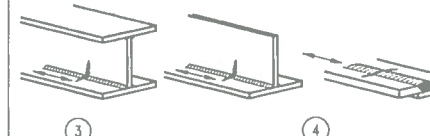
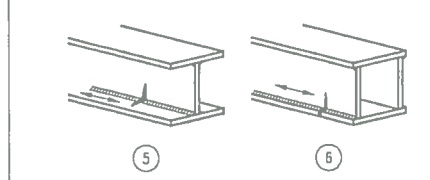
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
112		Senza piatto di sostegno 1 - Giunti trasversali in lamiera o profilati laminati 2 - Giunti di piattabando in travi composte prima dell'assemblaggio 3 - Giunti trasversali in piastra o piatti rastremati nella larghezza o nello spessore quando la pendenza non è maggiore di 1:4	1 e 2: - Ai particolari 1 e 2 può essere attribuita la categoria 125 quando si ottiene una snidatura di alta qualità e si verifica il soddisfacimento delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 1, 2 e 3 - Tutti i sovrappiombi di saldatura insiti fino alla superficie della piastra in direzione parallela alla freccia
90		4 - Giunti trasversali in lamiera 5 - Giunti trasversali in profilati laminati o travi composte saldate 6 - Giunti trasversali in piastra o piatti rastremati nella larghezza o nello spessore quando la pendenza non è maggiore di 1:4	4, 5 e 6: - L'altezza del sovrappiombo non deve essere maggiore del 10% della larghezza della saldatura, con transizione graduale alla superficie della piastra - Saldature eseguite in piano
80		7 - Giunti trasversali in lamiera profilati laminati o travi composte	7 - L'altezza del sovrappiombo non deve essere maggiore del 20% della larghezza della saldatura Da 1 a 7: - Usare talloni di estremità e rimuoverli successivamente, asportare il sovrappiombo di saldatura dal bordo delle lamiere nella direzione della tensione - Saldature eseguite da due lati

Prospetto 9.8.3 - Saldature di testa trasversali - Foglio 2 di 2

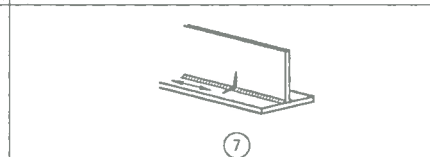
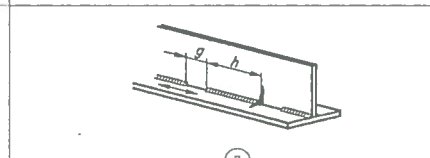
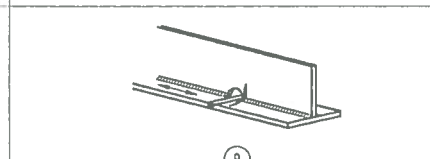
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
36 ¹⁾		8 - Saldature di testa eseguite da un solo lato	8 - Senza piatto di sostegno
71		Con piatto di sostegno 9 - Giunto trasversale 10 - Saldatura trasversale di testa, rastremata nella larghezza o nello spessore, quando la pendenza non è maggiore di 1:4	9 o 10: - Il cordone di saldatura che fissa il piatto di sostegno deve terminare ad una distanza maggiore di 10 mm dai bordi della piastra sovrappiombata
50		11 - Saldatura trasversale di testa su un piatto di sostegno permanente	11 - Qualora i cordoni di saldatura del piatto di sostegno finiscano ad una distanza minore di 10 mm dal bordo della piastra, o quando non può essere assicurato un buon accoppiamento

¹⁾ vedere 9.7.3.

Prospetto 9.8.2 - Travi composte saldate - Foglio 1 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
125		Saldatura longitudinale continua 1 - Saldature automatiche di testa eseguite da entrambi i lati. Se un opportuno controllo evidenzia che le saldature longitudinali sono esenti da difetti significativi, può essere usata la categoria 140	1 e 2: Non sono permesse interruzioni/ripreses ad eccezione del caso in cui la riparazione è eseguita da un tecnico qualificato e sia effettuato un controllo per verificare la corretta esecuzione della riparazione
112		2 - Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le estremità delle piastre congiunte dovranno essere verificate usando il particolare 5 nel prospetto 9.8.5 3 - Saldature automatiche a cordoni d'angolo o di testa eseguite da entrambi i lati, ma con eventuali interruzioni/punti di ripresa	
100		4 - Saldature automatiche di testa eseguite da un solo lato, con piatto di sostegno, ma senza interruzioni/punti di ripresa 5 - Saldature manuali a cordoni d'angolo o di testa 6 - Saldature manuali o automatiche di testa eseguite da un solo lato, in particolare per le travi scioltole	4 - Quando questo particolare contiene interruzioni/punti di ripresa, usare la categoria 100 6 - È essenziale un buon contatto fra anima e piastrina. Preparare il bordo dell'anima in modo da renderlo idoneo per una regolare penetrazione alla radice senza rottura

Prospetto 9.8.2 - Travi composte saldate - Foglio 2 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
100		7 - Riparazioni di saldature automatiche o manuali a cordoni d'angolo o di testa	7 - Metodi migliorativi ad egualmente verificati possono ripristinare la categoria originaria
80		Saldature longitudinali a tratti 8 - Saldature di imbastitura o punti di saldatura non ricoperti successivamente da una saldatura continua	8 - Saldatura a cordoni d'angolo a tratti con un rapporto fra tratti liberi o saldati $g/h \leq 2.5$
71		9 - Estremità di saldature continue in corrispondenza di fori di scanco	9 - Lunetta di scanco da non riempire con metallo di saldatura

Particolari costruttivi

Rispetto alla CNR UNI i particolari costruttivi a fatica saldati nel nuovo Eurocodice 3 sono più numerosi; in particolare:

- Sono stati ampliati i particolari saldati dei profilati cavi (prospetto 9.8.6.).
- sono stati inseriti i particolari saldati nelle travi reticolari (prospetto 9.8.7.).
- sono stati inseriti alcuni particolari saldati dei ribs trapezoidali (prospetto 9.8.5.).

Paragonando i particolari saldati della CNR UNI con quelli dell'Eurocodice 3 si notano sostanziali coincidenze, tranne alcuni casi i più evidenti dei quali sono di seguito indicati:

- Nella tabella 9.8.3. il particolare di categoria 71 (giunto testa-testa su piattino di sostegno) si intende, per le ragioni sopra esposte, con difetti non eccedenti il livello B della 25817; nella CNR UNI lo stesso particolare è di seconda classe, cioè con una difettologia molto superiore.

- Nella tabella 9.8.2. (giunti longitudinali) la categoria 140 del particolare 125 viene assegnato se la saldatura è esente da difetti significativi, mentre nella CNR UNI si parla solo di assenza di difetti di ripresa; sono due requisiti assai differenti.

Vi è poi una radicale differenza sulla classificazione dei giunti a croce a piena penetrazione, o a

parziale penetrazione o cordoni d'angolo.

I giunti a piena penetrazione sono in entrambi i regolamenti di classe 71 ma con difetti di livello B per l'Eurocodice 3 e di seconda classe per la CNR UNI ma in pratica, l'Eurocodice 3 richiede una verifica per σ_w per categoria 36 o 40!

I giunti con cordoni d'angolo e a parziale penetrazione sono per l'Eurocodice 3 di categoria 36 (aumentabile a 40) grossomodo come nella CNR UNI nel caso di cordoni con gola abbastanza piccola da rompersi in essa, mentre la categoria 63 della CNR UNI (cordoni con gola abbastanza grande da rompersi fuori saldatura) non è considerata!

APPENDICE C "PROGETTAZIONE CONTRO LA ROTTURA FRAGILE"

L'appendice C illustra un metodo per calcolare la minima temperatura di esercizio di un elemento strutturale senza ragionevoli probabilità di collasso senza deformazione plastica.

Il metodo basato sulle recenti acquisizioni della meccanica della frattura, fornisce risultati, per esperienza dello scrivente, abbastanza in linea con altri moderni regolamenti,

Il progresso, rispetto alla scarna e ormai superata enunciazione (punto 2.4.3.) della CNR UNI^(****), è notevole.

Si nota solo, al punto C.2.1. "Condizioni di esercizio" una stranezza che per quanto mi riguarda è incomprensibile.

Nella condizione di esercizio S1 sono compresi tre casi:

- nessuna saldatura
- allo stato come saldato con sollecitazioni locali (dovute a forze esterne) fino a 0,2 volte la σ

di snervamento.

- oppure con trattamento termico di distensione e con sollecitazioni locali (dovute a forze esterne) fino a 0,67 volte la σ di snervamento.

Che il primo caso, in cui all'apice dell'eventuale difetto agiscono solo le tensioni dovute ai carichi esterni, sia trattato come gli altri due casi, sembra molto strano.

A mio avviso, dovrebbe essere contemplata una condizione So per particolari senza saldatura sollecitati, ad esempio, non più di 0,5 volte la σ di snervamento.

Questa osservazione è destinata comunque ad essere superata in quanto la nuova edizione dell'Eurocodice 3 presenterà una appendice C radicalmente modificata.

CONCLUSIONI

Sono stati esaminati i vari punti dell'Eurocodice 3 (UNI ENV 1993 - 1.1.) riguardanti la saldatura.

Ove possibile sono stati fatti i confronti con le parti analoghe

della norma CNR UNI 10011 e del D.M. 9/1/1996.

Dal complesso emerge come l'Eurocodice 3, nella attuale edizione, rappresenti un netto progresso rispetto alla CNR UNI sia perché tratta temi nuovi, sia perché approfondisce altri temi con metodologie basate su ricerche più recenti.

Permangono alcune perplessità forse in parte legate ad una non corretta sinergia tra l'Eurocodice 3 e normative di riferimento uscite e che verranno probabilmente eliminate nella conversione in EN.

Altre perplessità richiedono correzioni o un attento esame dei documenti scientifici usati come base. Tuttavia non c'è dubbio che l'Eurocodice 3 costituisca, pur con le riserve espresse, un notevole progresso come guida alla progettazione delle saldature di strutture di carpenteria, guida che poi riguarda anche l'esecuzione se l'Eurocodice 3 viene legato alle normative successive ed in particolare alla UNI ENV 1090.1 e appendici soltanto citate in questo articolo.

^(****) CNR UNI 10011

2.4.3. *Fragilità alle basse temperature*

La temperatura minima alla quale l'acciaio di una struttura saldata può essere utilizzato senza pericolo di rottura fragile, in assenza di dati più precisi, deve essere stimata sulla base della temperatura T alla quale per detto acciaio può essere garantita una resilienza KV, secondo EN 10045/1a (gennaio 1992), di 27 J.

La temperatura T deve risultare minore o uguale a quella minima di servizio per elementi importanti di strutture saldate soggetti a trazione con tensione prossima a quella ammissibile aventi spessori maggiori di 25 mm e forme tali da produrre sensibili concentrazioni locali di sforzi (saldature di testa o d'angolo non soggette a controllo) od accentuate deformazioni plastiche di formatura. Se lo spessore è maggiore di 40 mm o se i carichi applicati comportano accentuato regime di fatica o sollecitazioni d'urto e si verificano ad un tempo le condizioni sopra indicate, è raccomandabile attenersi a temperature T anche minori di quella minima di servizio.

A parità di altre condizioni, via via che diminuisce lo spessore, la temperatura T potrà innalzarsi a giudizio del progettista fino ad una temperatura di circa 30° C maggiore di quella minima di servizio per spessori dell'ordine di 10 mm.

Un aumento può aver luogo anche per spessori fino a 25 mm via via che l'importanza dell'elemento strutturale decresce o che le altre condizioni citate si attenuano.

In base a quanto sopra il progettista, stimata la temperatura T alla quale la resilienza di 27 J deve essere assicurata, sceglierà nelle norme di unificazione o nei cataloghi dei produttori l'acciaio soddisfacente questa condizione.