



La saldatura degli acciai per armature: aspetti progettuali e di qualità secondo i requisiti degli standard internazionali applicabili

La saldatura dei ferri di armatura in elementi di calcestruzzo armato rappresenta un'attività per diversi aspetti critica, sia per difficoltà intrinseche legate alle geometrie e più in generale alle condizioni in cui vengono realizzate le giunzioni, sia perché solitamente la saldatura non è considerata, a torto, una fase "caratterizzante" all'interno del processo di fabbricazione del calcestruzzo armato.

Il contesto quindi è in sostanza diverso rispetto al caso dei Costruttori di strutture metalliche destinate ad opere in acciaio o miste acciaio-calcestruzzo, dove la saldatura e le implicazioni che ne derivano - in quanto "processo speciale" - rivestono una particolare importanza nell'ambito della fabbricazione.

Da questa premessa consegue la necessità, per le Società che vogliono gestire correttamente la saldatura delle armature, di identificare delle linee guida che possano indirizzare le varie fasi del processo costruttivo, fornendo le opportune indicazioni allo scopo

di ottenere un prodotto finale che possieda le necessarie garanzie circa l'adeguatezza alla funzione strutturale che dovrà svolgere, qualità e ripetibilità in produzione. A tale scopo, il riferimento normativo internazionale applicabile è rappresentato dalla norma ISO 17660, nelle parti 1 e 2, rivolte rispettivamente alle strutture destinate e non destinate alla trasmissione dei carichi.

La parte 1 che, per ovvie ragioni, risulta tecnicamente più interessante e che sarà illustrata nel presente articolo, tratta in maniera sostanzialmente completa i diversi aspetti legati alla realizzazione dei manufatti, di seguito elencati:

- processi di saldatura;
- tipologie di giunzione;
- materiali;
- requisiti di qualità;
- esecuzione ed ispezione.

La parte 2 della norma ripropone la medesima impostazione della parte 1, in una trattazione meno ampia e con requisiti meno stringenti, in considerazione della minore importanza delle unioni che

non dovranno trasmettere sollecitazioni durante l'esercizio.

Processi di saldatura

Sostanzialmente, i processi di saldatura previsti per la produzione delle armature sono quelli ad arco (elettrodo rivestito o processi sotto protezione gassosa, nelle versioni a filo pieno ed animato), la saldatura a resistenza (soprattutto per la fabbricazione di reti elettrosaldate caratterizzate da giunti a croce) fino ai processi per attrito (per i soli giunti testa a testa). La norma tuttavia non esclude a priori l'impiego di altri processi di saldatura.

Tipologie di giunzione

All'interno della norma, un notevole rilievo viene dato alla concezione delle giunzioni e alla descrizione delle diverse tipologie di saldatura ammissibili, da utilizzare sia per l'unione fra loro dei ferri di armatura (Fig. 1), sia per collegare le barre con altri acciai strutturali (elementi longitudinali o trasversali costituiti da profilati, piatti, ecc., Fig. 2).

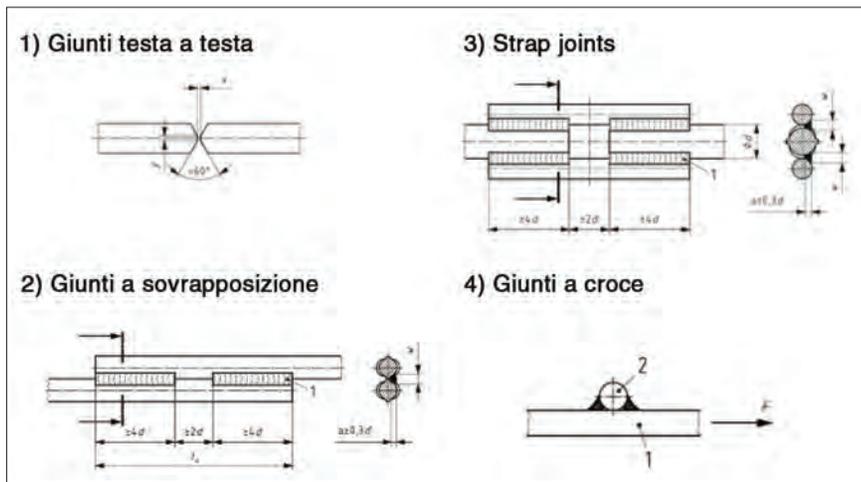


Figura 1 - Giunti omogenei

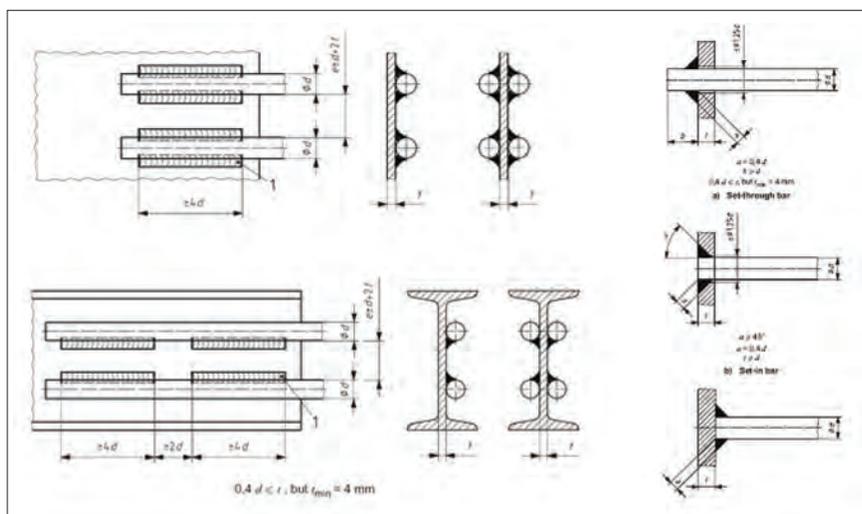


Figura 2 - Giunti misti



Figura 3 - Armatura di una trave reticolare mista

Sia per i tipi di giunto fra materiali omogenei sia per i tipi misti sono inoltre fornite indicazioni sul dimensionamento minimo dei cordoni, che non sostituiscono la fase di verifica progettuale, ma che comunque rappresentano un utile riferimento di cui tenere conto.

È importante notare che, nel prevedere giunzioni fra acciai da armatura e non, la norma contempla quindi anche le saldature necessarie a realizzare le cosiddette travi reticolari miste (Fig. 3), ovvero quella tipologia di elementi in acciaio-calcestruzzo che deve garantire alla sola porzione in acciaio la funzione di auto portanza in prima fase (ovvero con getto non ancora solidificato). Le saldature presenti in queste strutture svolgono un ruolo particolarmente critico in quanto, durante la fase di maturazione del calcestruzzo, quest'ultimo rappresenta solo un gravoso carico per la trave, senza contribuire alla sua capacità portante. Le travi reticolari miste consentono una riduzione dei tempi di posa (limitando, come per le travi prefabbricate in c.a., la necessità di strutture temporanee di sostegno) pur mantenendo le caratteristiche di flessibilità al montaggio di una struttura gettata in opera. In considerazione di queste particolarità e del ruolo di crescente importanza che ricoprono nel settore delle costruzioni civili, questo tipo di trave è stato oggetto di una Linea Guida, emanata nel maggio del 2008, dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ad integrazione di quanto previsto dal D.M. del 14/1/2008.

Materiali

Come anticipato nell'illustrazione delle tipologie di giunto sopra descritte, i materiali base previsti dalla ISO 17660 non si limitano ai soli acciai da armatura (ovvero, volendo riferirsi al contesto rappresentato dalle NTC, la norma UNI EN 10080), ma sono ammessi anche altri acciai strutturali (vale a dire,

sempre secondo la normativa nazionale vigente, la UNI EN 10025 per i prodotti piani e le UNI EN 10210 e 10219 per i prodotti cavi). Va a questo punto sottolineato che la norma introduce alcune prescrizioni che possono essere considerate peculiari all'interno del quadro normativo che regola le attività di saldatura, e che richiamano l'attenzione su come la giunzione degli elementi di armatura sia un'attività critica nell'articolato universo della saldatura, già di per sé definita come "processo speciale".

Un esempio è l'introduzione del carbonio equivalente del materiale base di fornitura come parametro essenziale da controllare. In particolare, è richiesto che il suo valore non superi quello dei saggi utilizzati per la qualifica dei procedimenti. Effettivamente, tale parametro, pur riconosciuto come indice principale della saldabilità degli acciai al carbonio, non è tuttavia ritenuto vincolante da altre importanti norme come la EN ISO 15614, che regola la qualifica dei procedimenti, o la EN 1011-2 ("Raccomandazioni per la saldatura ad arco degli acciai ferritici") che cita il carbonio equivalente in un'appendice informativa per la determinazione della temperatura di preriscaldamento.

Va ancora notato che i materiali da armatura secondo UNI EN 10080 ammettono un CEV mediamente più elevato rispetto ai comuni acciai da costruzione (S275, S355), sebbene allineato ai materiali con analogo snervamento (ad esempio, S460). Da questa considerazione deriva la maggiore attenzione che si deve porre nell'applicazione del corretto preriscaldamento al fine di limitare l'insorgenza di fenomeni di criccabilità a freddo così come, a tal fine, rappresenta sicuramente una buona pratica quella di adottare il più possibile la tecnica multi passata per sfruttare l'effetto di rinvenimento sul materiale base.

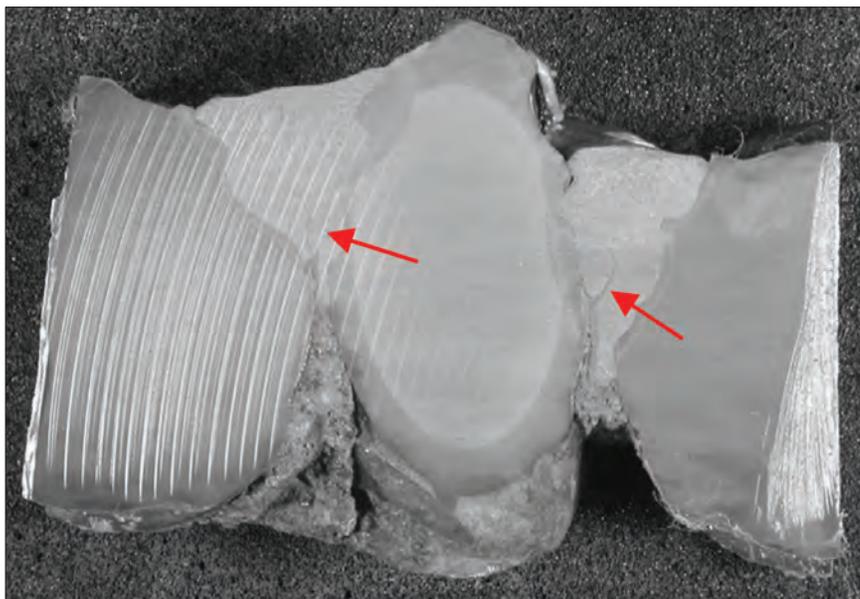


Figura 4 - Cricche a caldo in zona fusa

Le cautele sopra descritte valgono, a maggior ragione, quando è previsto l'impiego di barre prodotte con il trattamento termico di tempra e auto-rinvenimento (barre "tempcore", più diffuse rispetto alle barre microlegate, in conseguenza del costo degli elementi di lega) le quali, pur dovendo rispettare i limiti massimi di carbonio equivalente previsti dalla norma, presentano uno strato martensitico esterno. Per quanto riguarda poi il contenuto di impurezze (zolfo e fosforo) e di altri bassofondenti come il rame, la UNI EN 10080 ammette limiti massimi di valore quasi doppio rispetto alla UNI EN 10025, quindi anche dal punto di vista della criccabilità a caldo le giunzioni con elementi di armatura risultano più sensibili (Fig. 4).

Infine, con riferimento ai materiali d'apporto, è richiesto che i consumabili (omologati) abbiano una tensione nominale di snervamento almeno pari, in generale, al 70% di quella dell'acciaio di armatura (requisito legato anche ai criteri di dimensionamento delle giunzioni menzionati in precedenza). Nel solo caso di giunti testa a testa fra le barre di armatura è prescritto invece un carico di snervamento equivalente fra materiale base e

consumabile, al fine di ripristinare nel giunto la resistenza della sezione del tondo.

Requisiti di qualità

Passando ai requisiti di qualità che il Costruttore deve possedere, la norma ISO 17660 definisce il livello dei requisiti di qualità applicabili (ISO 3834-3) e del personale di coordinamento delle attività di saldatura (ISO 14731).

Per quanto riguarda le qualifiche dei procedimenti e dei saldatori è la stessa ISO 17660 a definire le modalità di test (prove distruttive di trazione, piega e taglio) e i criteri di accettabilità. Si noti che tra le caratteristiche meccaniche da garantire da parte degli acciai secondo EN 10080, di conseguenza dai giunti saldati che li interessano, non è richiesta la verifica della tenacità. In effetti, questo può essere considerato un limite normativo. Se da un lato la presenza del copriferro in calcestruzzo può ridurre la tendenza alla fragilità indotta dall'esposizione a bassa temperatura delle parti in acciaio, questa considerazione è da intendersi valida unicamente in fasi transitorie. Inoltre, in alcuni casi (ad esempio per le già citate travi reticolari miste) lo spessore del copriferro è

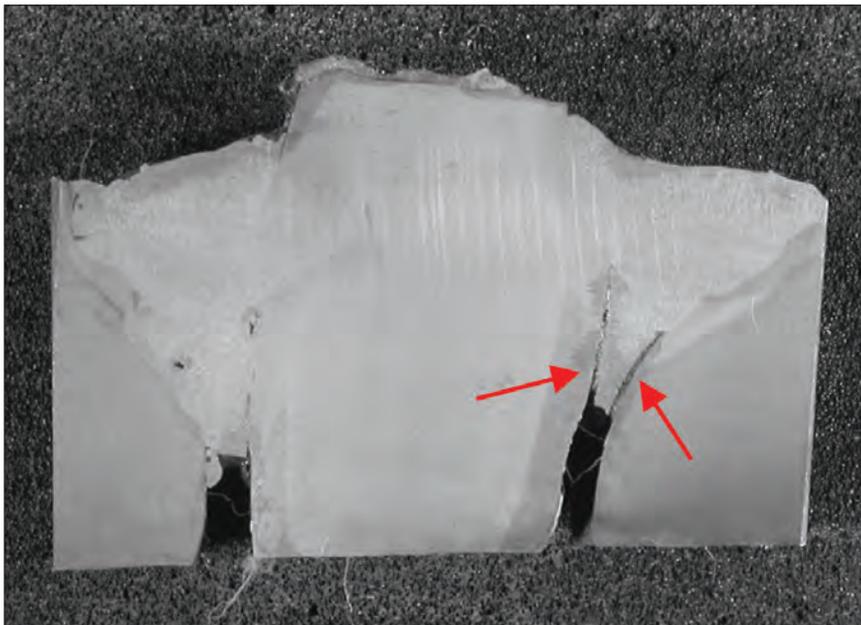


Figura 5 - Incollature

più limitato rispetto ad una trave tradizionale ed allo stesso tempo i valori di sollecitazione dell'armatura possono essere più elevati. Non è da trascurare nemmeno il degrado del calcestruzzo stesso il quale, qualora il monitoraggio e la manutenzione delle opere non sia svolta efficacemente, può esporre l'acciaio all'ambiente esterno (ac-

celerando in aggiunta i fenomeni di ossidazione). A parziale emendamento della mancata evidenza in merito ai valori di tenacità degli elementi saldati, la ISO 17660 suggerisce genericamente, per gli acciai da armatura approvvigionati in particolari stati di fornitura (come le barre tempcore oppure le barre deformate a freddo), di limitare



Figura 6 - Incollatura di un giunto evidenziata dallo sfilamento del tondo di armatura durante la prova di trazione

gli apporti termici in saldatura per evitare di degradare le proprietà dei materiali base. Nell'ambito dei requisiti di qualità che devono essere assolti dalle strutture di armatura, la norma esplicita poi un'ulteriore carattere di originalità, oltre al già citato criterio di estensione della validità delle qualifiche legato al carbonio equivalente: parliamo del concetto di costante verifica del mantenimento dei requisiti di qualificazione. Infatti, riconoscendo la difficoltà di applicare efficacemente dei metodi di controllo non distruttivo di tipo strumentale ai giunti di armatura, si richiede ai Costruttori di eseguire con una cadenza temporale abbastanza serrata (tre mesi per le officine ed un mese per i cantieri) i saggi di produzione, sulla base delle tipologie di unione, dei processi applicati e per ogni saldatore coinvolto, da sottoporre sostanzialmente agli stessi test necessari per conseguire la certificazione iniziale.

Esecuzione ed ispezione

La ISO 17660 affronta infine alcuni aspetti legati all'esecuzione, con indicazioni di buona pratica costruttiva. In quest'ambito, è opportuno rimarcare l'importanza della preparazione e della pulizia dei materiali base e del controllo delle condizioni operative ed ambientali in cui si effettuano le saldature. Inoltre, il corretto assiemaggio delle strutture, nel rispetto di determinate tolleranze dimensionali nell'accoppiamento dei giunti, ricopre un ruolo fondamentale nel garantire la resistenza delle unioni e l'assenza di difetti. In particolare, è necessario limitare il più possibile il distacco fra i lembi da unire, e questo al fine di assicurare:

- che la gola resistente sia coerente con quanto previsto dal progetto dei giunti;
- una buona accessibilità e definizione del vertice, limitando il rischio di incollature o sfondamenti (Figg. 5 e 6);

- un favorevole fattore di forma della zona fusa, limitando le tensioni di ritiro e il conseguente rischio di criccabilità (Fig. 7).

La problematica di un corretto assiemaggio diventa più sentita al crescere del diametro e quindi della rigidità delle barre, senza dimenticare che l'aumento della sezione di materiale base contribuisce ad incrementare la severità del ciclo termico.

Si tenga inoltre presente che la morfologia degli accoppiamenti è complicata dal fatto che le Norme Tecniche per le Costruzioni richiedono l'impiego di barre ad aderenza migliorata, in cui la superficie di contatto risulta irregolare per la presenza delle nervature o indentature. Le considerazioni appena elencate pongono in risalto l'esigenza, quindi, di eseguire un'attenta verifica visiva degli accoppiamenti prima di realizzare le giunzioni saldate e di garantire l'appropriato preriscaldamento (come già accennato parlando della composizione chimica dei materiali).

Tali controlli, che nella maggior parte dei casi sono eseguiti, per esigenze di fabbricazione, in regime di autocontrollo da parte degli stessi addetti alla produzione, assumono in realtà un'importanza forse maggiore dei test finali.

Per quanto riguarda infatti i controlli non distruttivi sulle saldature, la ISO 17660 prescrive unicamente

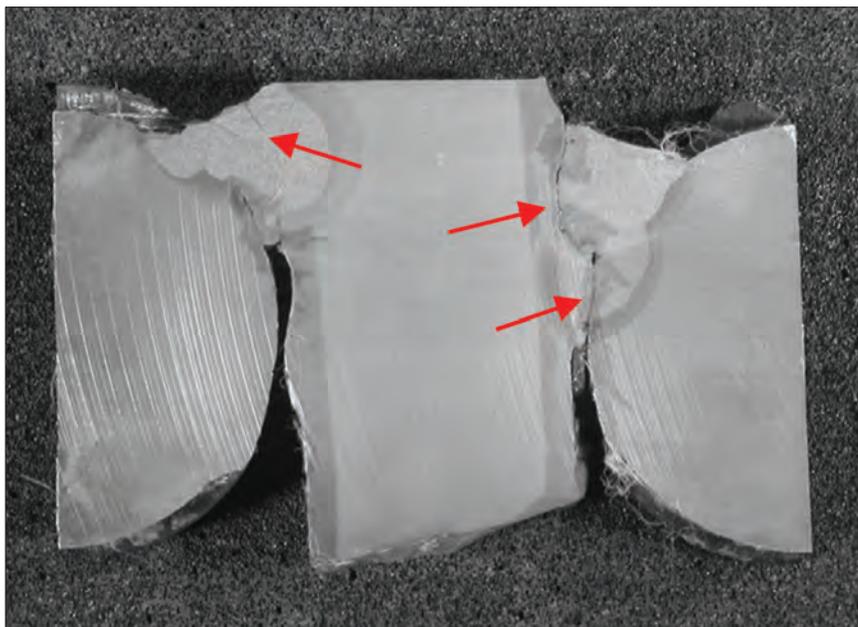


Figura 7 - Fenomeni di criccabilità

l'esame visivo, riconoscendo l'oggettiva difficoltà nell'applicazione dei controlli dimensionali (viste le morfologie dei giunti, le estensioni limitate e le accessibilità) e strumentali (eventuali controlli magnetoscopici o a liquidi penetranti evidenziano un numero rilevante di indicazioni false e spurie).

La garanzia di qualità è quindi sostanzialmente demandata ai controlli indiretti rappresentati dai saggi periodici di produzione di cui si è parlato in precedenza.

In conclusione, la norma ISO 17660, anche in virtù delle particolarità descritte, che affrontano come detto questioni tecnicamen-

te sensibili in un modo per certi versi innovativo (trattazione delle unioni fra acciai non omogenei, importanza del CEV ai fini della qualificazione dei procedimenti, esecuzione di saggi di produzione periodici), costituisce un documento essenziale, tra i pochi disponibili, per chi costruisce elementi di armatura saldati in regime di qualità, e pertanto destinato a breve a diventare un riferimento cogente nel contesto normativo nazionale.

Ing. Federico Baiardo
IIS Service srl