

UX94

Guida al capitolato tipo per le strutture metalliche



UNICMI

In collaborazione con



UX94

**Guida al capitolato tipo
per le strutture metalliche**

Gennaio 2016

Commentario al capitolato

Gennaio 2016

Introduzione al documento

Il capitolato tecnico per la fornitura di carpenterie metalliche è un documento contrattuale che descrive l'oggetto della fornitura e le prestazioni da richiedere al fine di ottenere un prodotto di buona qualità.

Esso deve:

- Fornire prescrizioni tecniche che rispettino le norme e gli *standard* vigenti in relazione a tutte le attività di realizzazione di strutture metalliche: progettazione, approvvigionamento dei materiali, lavorazioni di officina, stoccaggio, trasporto, montaggio, trattamenti protettivi;
- Fornire procedure e metodi di controllo delle attività realizzative al fine di garantire il raggiungimento del livello di qualità richiesto;
- Regolare i rapporti tra i principali "attori" che partecipano alla realizzazione di una struttura metallica: Committente, Progettista, Appaltatore (Costruttore e Montatore), Direttore dei Lavori e Collaudatore, garantendo un flusso ordinato di informazioni, mediante la definizione dei documenti da produrre, delle informazioni che in essi devono essere contenute e delle eventuali approvazioni necessarie per poter procedere con le attività realizzative.

Questo documento vuole essere una guida per la stesura di un capitolato tecnico per la fornitura di carpenterie metalliche e potrà essere utilizzato come parte speciale di un capitolato generale oppure separatamente ed indipendentemente da quest'ultimo.

L'UX94 è un documento rivolto principalmente al Progettista, che è responsabile non solo del progetto ma anche della stesura del capitolato tecnico. Egli potrà utilizzare il testo così come è, completandolo, come suggerito dal testo stesso, al fine di adattarsi all'opera specifica in oggetto. Egli potrà anche modificare il documento, mediante aggiunte e/o eliminazioni di parte del testo, se lo riterrà opportuno, al fine di meglio adattarsi all'opera in oggetto.

Il presente documento è rivolto anche al Direttore dei Lavori, perché contiene l'indicazione dei principali controlli da effettuare durante tutto l'*iter* realizzativo dell'opera.

L'UX94 è stato sviluppato nel rispetto della Normativa Italiana vigente ma anche delle normative tecniche di riferimento, prima fra tutte la UNI EN 1090-2. Esso è articolato in un testo di capitolato e in un commentario a tale testo, dove si discutono i criteri che hanno condotto alla scelta delle prescrizioni.

Questo documento non deve essere considerato un'opera compiuta: va inteso piuttosto come un dinamico strumento di guida per una categoria di opere, quelle realizzate in carpenteria metalliche, in continua evoluzione alla luce della normativa tecnica europea e della marcatura CE. Anche per questo motivo l'UX94 esce pochi mesi dopo l'UX1090, linea guida all'applicazione della EN 1090 per il mercato italiano, anch'essa nata dalla collaborazione con **CTA**, e con la quale completa la collana di strumenti tecnici pensati per gli operatori industriali e professionali coinvolti nella filiera delle costruzioni.

Con questo documento tecnico UNICMI e CTA confermano la propria vocazione ad essere *partner* efficaci ed affidabili dell'universo dei Progettisti e, in generale, della Committenza per una crescita qualitativa costante del comparto della carpenteria metallica.

Note sull'autore

Benedetto Cordova, laureato al Politecnico di Milano in Ingegneria civile ad indirizzo strutturalistico, ha lavorato presso l'ENEL – Divisione Ingegneria ed Innovazione, occupandosi della progettazione e realizzazione delle strutture in acciaio per centrali elettriche. E' progettista e docente alle esercitazioni del corso di Costruzioni Metalliche al Politecnico di Milano, nonché in corsi di aggiornamento per laureati organizzati da UNICMI, ATE, CTA, Politecnico di Milano, Ordine degli Ingegneri di Milano, Bolzano e Alessandria. E' autore di due testi editi da Hoepli sul calcolo delle strutture in acciaio.

INDICE GUIDA AL CAPITOLATO TIPO PER LE STRUTTURE METALLICHE

1. Scopo	5
2. Oggetto	5
3. Prestazioni	5
4. Descrizione della fornitura	6
5. Esclusioni dalla fornitura	6
6. Progettazione	7
6.1 Definizioni	7
6.2 Modalità di progettazione	8
7. Classi di esecuzione delle strutture	11
8. Materiali	15
8.1 Profilati e lamiere	15
8.2 Bulloni non precaricati	16
8.3 Bulloni precaricati	17
8.4 Tirafondi	17
8.5 Lamiere grecate	17
8.6 Grigliati metallici e lamiere striate o bugnate	17
8.7 Connettori per il taglio	18
9. Lavorazioni d'officina	18
9.1 Identificazione, documenti d'ispezione e tracciabilità dei prodotti	18
9.2 Marcatura delle strutture	18
9.3 Movimentazione e stoccaggio	18
9.4 Taglio	19
9.5 Formatura	19
9.6 Forature	19
9.7 Assemblaggio e premontaggi	20
10. Saldatura	21
10.1 Generalità	21
10.2 Qualifica dei saldatori	22
10.3 Preparazione dei lembi	22
10.4 Materiali di consumo	22
10.5 Controlli non distruttivi	22
10.6 Criteri di accettabilità delle saldature	24
11. Bullonatura	25
11.1 Generalità	25
11.2 Serraggio dei bulloni precaricati	25
11.3 Serraggio dei bulloni non precaricati	27
11.4 Controllo del serraggio dei bulloni precaricati	28
12. Tolleranze di fabbricazione	30
13. Montaggio	43
14. Tolleranze di montaggio	46
15. Trasporto	54
16. Stoccaggio	54
17. Trattamenti protettivi	54
17.1 Generalità	54
17.2 Zincatura a caldo	56
17.3 Verniciatura	60
18. Gestione della qualità	65
18.1 Documentazione relativa alla qualità	65
18.2 Piano della qualità	65
19. Norme di misurazione	65
19.1 Oneri compresi nei prezzi	65
19.2 Bulloni d'ancoraggio	66
19.3 Strutture in acciaio	66
19.4 Lamiere grecate, lamiere striate o bugnate	66
19.5 Grigliati	67
19.6 Cicli di pitturazione	67
20. Appendice A: Elenco disegni	68
21. Appendice B: Normativa applicabile	68

COMMENTARIO AL CAPITOLATO TECNICO

C1. Scopo	77
C2. Oggetto	77
C3. Prestazioni	77
C4. Descrizione della fornitura	77
C5. Esclusioni dalla fornitura	78
C6. Progettazione	78
C6.1 Definizioni	78
C6.2 Modalità di progettazione	78
C7. Classi di esecuzione delle strutture	80
C7.1 Cosa sono le classi di esecuzione?	80
C7.2 Come si sceglie la classe di esecuzione?	85
C8. Materiali.....	88
C8.1 Profilati e lamiera	88
C8.2 Bulloni non precaricati	91
C8.3 Bulloni precaricati.....	92
C8.4 Tirafondi	93
C8.5 Lamiera grecate	94
C8.6 Grigliati metallici e lamiera striate o bugnate.....	94
C8.7 Connettori per il taglio	94
C9. Lavorazioni d'officina	94
C9.1 Identificazione, documenti d'ispezione e tracciabilità dei prodotti	94
C9.2 Marcatura delle strutture	96
C9.3 Movimentazione e stoccaggio	96
C9.4 Taglio	96
C9.5 Formatura	96
C9.6 Forature	96
C9.7 Assemblaggio e premontaggi.....	97
C10. Saldatura	97
C10.1 Generalità	98
C10.2 Qualifica dei saldatori.....	99
C10.3 Preparazione dei lembi	99
C10.4 Materiali di consumo	99
C10.5 Controlli non distruttivi.....	99
C10.6 Criteri di accettabilità delle saldature.....	102
C11. Bullonatura	103
C11.1 Generalità	103
C11.2 Serraggio dei bulloni precaricati	104
C11.3 Serraggio dei bulloni non precaricati	107
C11.4 Controllo del serraggio dei bulloni precaricati	108
C12. Tolleranze di fabbricazione.....	108
C13. Montaggio.....	111
C14. Tolleranze di montaggio	115
C15. Trasporto	118
C16. Stoccaggio.....	118
C17. Trattamenti protettivi.....	118
C17.1 Generalità	118
C17.2 Zincatura	119
C17.3 Verniciatura	120
C18. Gestione della qualità.....	127
C19. Norme di misurazione.....	127

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti citati nel testo.....	131
Normative di riferimento.....	131

1. Scopo

Il presente Capitolato Tecnico (di seguito CT) ha lo scopo di fornire all'Appaltatore tutte le informazioni tecniche necessarie e di prescrivergli tutti i requisiti tecnici necessari al fine di garantire un adeguato livello di qualità nella progettazione e realizzazione delle opere relative a... [indicare l'opera oggetto dell'appalto].

Con la firma del contratto si intende che l'Appaltatore approva totalmente e incondizionatamente le prescrizioni tecniche contenute nel presente CT, e riconosce le informazioni tecniche fornite come sufficienti per un corretto svolgimento entro i tempi pattuiti delle attività affidategli.

2. Oggetto

I lavori oggetto del presente CT riguardano... [inserire qui una sintetica descrizione della fornitura: complesso di edifici ad uno abitazione, capannone industriale, centrale termoelettrica, etc.].

L'opera sarà ubicata [descrizione del luogo ove sorgerà l'opera, specificando latitudine e longitudine, descrizione della viabilità].

Condizioni ambientali:

- Temperatura media:
- Temperature minima e massima:
- Piovosità:

Vita nominale dell'opera (NTC2008 Tab. 2.4.1): anni

Classe d'uso (NTC2008 §2.4.2): [I][II][III][IV]

Classe di esecuzione delle strutture richiesta, secondo UNI EN 1090-2:

[Tutte le strutture: EXC[1][2][3][4]]

[Oppure in alternativa, se si attribuiscono classi diverse a parti della struttura:]

[Strutture..... EXC[1][2][3][4]

Strutture..... EXC[1][2][3][4]]

Classe di tolleranze funzionali secondo UNI EN 1090-2: [classe 1] [classe 2]

[in alternativa, specificare a quali strutture attribuire la classe 1 e a quali la classe 2]

3. Prestazioni

L'Appaltatore deve fornire le seguenti prestazioni:

[eliminare le voci non richieste, aggiungere quelle non eventualmente elencate]

La progettazione in accordo alla modalità [A][B][C] come definita al capitolo 6 – PROGETTAZIONE [con le seguenti varianti:... aggiungere eventuali varianti alle modalità standard di progettazione previste];

- L'approvvigionamento dei tirafondi di fondazione;
- L'approvvigionamento dei materiali (profilati, lamiera, bulloni, lamiera grecate, etc.);
- La fornitura di manti di copertura, pannellature di parete, lamiera grecate, grigliati, porte, portoni, finestre, scossaline, pluviali, etc.;
- La prefabbricazione in officina;
- Il premontaggio delle strutture (se richiesto);
- Lo stoccaggio in officina;
- Il trasporto in cantiere;
- Lo stoccaggio in cantiere;
- Il montaggio delle strutture;
- [L'inghisaggio dei tirafondi di fondazione] [L'assistenza all'inghisaggio dei tirafondi di fondazione (eseguito da altri)];
- I trattamenti protettivi superficiali: [solo prima mano][tutte le mani in officina e ritocchi in opera][prima mano in officina, mani successive in opera][zincatura a caldo];
- Ispezioni prove e collaudi;
- Prove sui materiali;
- Controlli non distruttivi sulle saldature come riportati in [tabella 10.5.1a] [tabella 10.5.1b];

- [*indicare eventualmente una serie diversa di controlli*]
- L'assistenza al collaudo delle opere;
 - Marcatura CE dei componenti strutturali;

4. Descrizione della fornitura

La fornitura oggetto del presente contratto è da intendersi fornitura [in opera][franco cantiere].

Formano oggetto della fornitura le seguenti opere:

[*descrizione completa delle opere da fornire*].

Formano parte integrante della descrizione delle opere da eseguire i disegni elencati nell'Appendice A,

[che l'Appaltatore riconosce come sufficienti a descrivere le opere da eseguire]

[che l'Appaltatore riconosce come sufficienti a caratterizzare la tipologia dei disegni finali di progetto, che saranno forniti successivamente] [*la prima frase se si consegna all'Appaltatore il progetto completo dell'opera in oggetto; la seconda se gli si forniscono disegni di massima dell'opera in oggetto e disegni tipici di un'opera simile per complessità*].

La fornitura è da intendersi [a forfait][a misura].

[*Oppure:*]

Sarà a *forfait* la fornitura delle seguenti opere: [*elencare quali*].

Sarà a misura la fornitura delle seguenti opere: [*elencare quali*]

La fornitura comprenderà quanto indicato nei paragrafi seguenti; saranno comunque compresi i componenti, gli accessori, i materiali vari, anche se non espressamente descritti, e quant'altro normalmente necessario per rendere la fornitura completa, perfettamente funzionante e rispondente alle normative in vigore.

5. Esclusioni dalla fornitura

Sono escluse dalla fornitura le seguenti attività:

[*eliminare le voci non richieste, aggiungere quelle eventualmente non elencate; l'elenco deve essere consistente con quello del §3 "Prestazioni da fornire"*]

- La preparazione del sito;
- Le eventuali demolizioni;
- Le opere civili in genere;
- La realizzazione delle fondazioni;
- L'approvvigionamento dei tirafondi di fondazione;
- La posa in opera dei tirafondi di fondazione;
- L'approvvigionamento dei materiali (profilati, lamiera, bulloni, lamiera grecate, etc.);
- La fornitura di manti di copertura, pannellature di parete, lamiera grecate, grigliati, porte, portoni, finestre, scossaline, pluviali, etc.;
- La prefabbricazione in officina;
- Lo stoccaggio in officina;
- Il trasporto in cantiere;
- Lo stoccaggio in cantiere;
- Il montaggio delle strutture;
- L'inghisaggio dei bulloni di fondazione;
- I trattamenti protettivi superficiali (mani successive alla prima);
- Il collaudo delle strutture (ma deve essere comunque fornita assistenza al collaudo);

6. Progettazione

6.1 Definizioni

Valgono le seguenti definizioni:

Progettista:	Chi esegue la progettazione esecutiva delle opere, per conto del Committente o dell'Appaltatore (in funzione della modalità di progettazione scelta, di cui al §6.2).
Disegni di progetto:	<p>Disegni, redatti da Progettista, relativi alla fase di progetto definitivo, che definiscono compiutamente le opere. Tra le informazioni presenti devono essere contenute almeno quelle relative a: dimensioni geometriche, profili, materiali impiegati (denominazione completa), zone di rispetto (parti dell'elemento strutturale da lasciare libere da forature e/o saldature per fissaggio di elementi secondari, etc.) per componenti impiegati in strutture dissipative in aree a media o alta sismicità, tolleranze di lavorazione e montaggio (in luogo dei valori ci può essere un riferimento al presente CT dove tali valori compaiono), saldature (tipologia, eventuali indicazioni sulla preparazione dei lembi, dimensioni dei cordoni, eventuali prescrizioni di controlli non distruttivi se diversi da quelli prescritti dal presente CT), fori di sfiato e drenaggio (per strutture da zincare a caldo), bullonature (diametri, eventuali prescrizioni sui giochi foro-bullone, indicazione se si tratta di bulloni con gambo parzialmente o totalmente filettato), tipologie delle connessioni, carichi di servizio, portata delle gru-monorotaie-carroponti, coppie di serraggio, coefficienti di attrito per unioni ad attrito, classi di resistenza al fuoco R per le varie parti o aree della struttura.</p> <p>I Disegni di Progetto comprendono di norma: pianta delle fondazioni con indicazione dei tirafondi, piante alle varie elevazioni, allineamenti nelle due direzioni, prospetti architettonici, dettagli architettonici e vari, e comunque qualsiasi disegno necessario per definire compiutamente le opere.</p> <p>Se i disegni di progetto non sono accompagnati dai Disegni tipici dei dettagli costruttivi, essi devono recare anche l'indicazione degli sforzi per i quali dimensionare i dettagli di connessione delle membrature.</p> <p>Se è previsto l'impiego di vernici intumescenti, i disegni di progetto devono recare l'indicazione degli sforzi fattorizzati per la Combinazione Eccezionale di cui al §2.5.3 delle Norme Tecniche NTC2008, raggruppati opportunamente per i vari elementi strutturali.</p>
Progetto esecutivo:	L'insieme della Relazione dei materiali, Relazione di calcolo, Disegni di progetto ed eventualmente Disegni tipici dei dettagli costruttivi.
Disegni tipici dei dettagli costruttivi:	Disegni che definiscono compiutamente le connessioni tra le membrature, completi di numero e tipo di bulloni, lunghezza e spessore minimo dei cordoni di saldatura, lunghezza minima e spessore dei piatti e/o squadrette, distanze tra i fori, principali dimensioni, etc. Un unico dettaglio tipico può definire la realizzazione di più di un dettaglio reale, se viene indicata chiaramente la regola di derivazione o se si tratta di realizzare modesti adattamenti di mero carattere geometrico.
Disegni costruttivi d'officina:	Disegni in genere realizzati dall'Appaltatore che definiscono compiutamente, ai fini delle lavorazioni, ciascun pezzo che deve essere realizzato, identificandolo con opportuna marcatura. Se il pezzo è composto mediante saldatura, ci sarà in genere un sistema di marcatura che individua il singolo elemento componente il pezzo, ed una marcatura che individua il pezzo nel suo insieme. I Disegni costruttivi d'officina sono elaborati sulla base delle informazioni contenute nei Disegni di progetto e nei Disegni tipici dei dettagli costruttivi, senza introdurre nessuna ulteriore informazione di carattere progettuale. Essi devono riportare anche le informazioni relative a trattamenti superficiali, tolleranze di costruzione, coefficienti di attrito per unioni ad attrito, giochi foro-bullone, preparazione dei lembi per la saldatura, tipologia e dimensioni dei cordoni di saldatura.
Assiemi di montaggio:	Gli Assiemi di montaggio sono disegni di assieme, sviluppati in genere dall'Appaltatore, simili alle piante e allineamenti dei Disegni di progetto, che recano l'indicazione delle marche dei singoli elementi, definiti nei Costruttivi d'Officina, con lo scopo di guidare il montaggio delle strutture. Essi devono contenere le informazioni elencate al capitolo 13 - Montaggio.

Disegni *as-built* Insieme di disegni realizzati dall'Appaltatore che descrivono le strutture come effettivamente realizzate, riportando ed evidenziando tutte le modifiche occorse tra la costruzione e il completamento del montaggio.

I documenti di progetto sopra definiti dovranno contenere almeno le informazioni sopra elencate.

6.2 Modalità di progettazione

Sono previste 3 modalità di progettazione, denominate A, B e C, qui di seguito descritte. La modalità scelta per il lavoro in oggetto è indicata al capitolo 3 – PRESTAZIONI.

Modalità di progettazione A:

L'Appaltatore è responsabile della progettazione dell'opera, intendendo come tale lo sviluppo dei disegni di progetto, dei disegni delle connessioni, delle relazioni di calcolo e dei materiali e di qualsiasi altro documento necessario per definire compiutamente il progetto delle opere oggetto del contratto e per espletare le pratiche di Legge. L'Appaltatore sceglie il Progettista che sarà responsabile della progettazione ai sensi di Legge. Il Committente si riserva il diritto di approvare la scelta del Progettista. Al fine di consentire all'Appaltatore di svolgere nei tempi concordati la progettazione delle opere, il Committente fornirà:

- I disegni di massima dell'opera, con le indicazioni dimensionali, planimetriche e volumetriche, e le indicazioni funzionali da rispettare, compresi i carichi di apparecchiature e carroporti, se applicabile (Elenco da riportare nella Appendice A);
- I disegni architettonici di massima (piante, prospetti e dettagli architettonici) (Elenco da riportare nella Appendice A);

Le normative da applicare nella progettazione sono elencate in Appendice B.

L'Appaltatore deve fornire i seguenti documenti progettuali al Committente (le indicazioni (A) ed (I) indicano, rispettivamente "per Approvazione" e "per Informazione"):

- Disegni architettonici (piante e prospetti) (A);
- Relazione descrittiva delle opere, con indicazione dei materiali adottati (A);
- Disegni di progetto delle strutture, con indicazione dei profili adottati (I);
- Disegni di progetto delle connessioni (I);
- Relazione dei materiali (I);
- Relazione illustrativa dei materiali adottati per manti di copertura, pannellature di parete, lamiere grecate, grigliati, porte, portoni, finestre, scossaline, pluviali, etc. (se nello scopo di fornitura) (I);
- Relazione di calcolo delle strutture e delle connessioni (I);
- Assiemi di montaggio (I).

I documenti contrassegnati con (A) devono essere approvati dal Committente prima dell'inizio di ogni attività di costruzione; quelli contrassegnati con (I) verranno inviati in parallelo alle attività di costruzione svolte dall'Appaltatore.

Il Committente ha 15 giorni di tempo, salvo diversamente concordato, per approvare i suddetti documenti contrassegnati con (A). Trascorso tale termine di tempo, l'Appaltatore, previa comunicazione scritta, è autorizzato ad iniziare le proprie attività. Nel formulare il proprio programma cronologico l'Appaltatore deve tenere in considerazione i tempi suddetti per l'approvazione dei documenti di progetto.

Modalità di progettazione B:

Il Committente è responsabile della progettazione dell'opera, intendendo come tale lo sviluppo dei disegni di progetto, delle relazioni di calcolo e dei materiali e di qualsiasi altro documento necessario per definire compiutamente il progetto delle opere oggetto del contratto. Il Committente sceglie il Progettista che sarà responsabile della progettazione ai sensi di Legge.

L'Appaltatore è responsabile del dimensionamento dei dettagli costruttivi dell'opera sulla base del dimensionamento strutturale, delle azioni nei nodi e dei criteri di dimensionamento a lui forniti dal Progettista del Committente.

Al fine di consentire all'Appaltatore di svolgere nei tempi concordati la progettazione delle opere di sua competenza, il Committente, tramite il Progettista delle opere, fornirà:

- I disegni di progetto delle opere, con le indicazioni dei profili strutturali (Elenco da riportare nella Appendice A);
- Un documento relativo alle azioni da tenere in conto per effettuare il dimensionamento delle connessioni (Da elencare nella Appendice A);
- Un documento relativo ai metodi di calcolo per effettuare il dimensionamento delle connessioni, alle tipologie di connessione eventualmente preferite ed ai coefficienti di attrito da impiegare nelle connessioni ad attrito, se applicabile (Da elencare nella Appendice A).

Se la scelta dei dettagli costruttivi operata dall'Appaltatore dovesse comportare delle modifiche nella progettazione svolta dal Progettista, l'Appaltatore dovrà richiedere esplicita approvazione delle suddette modifiche al Progettista e coordinare con esso la propria attività al fine di rispettare i tempi di sviluppo del progetto.

Se l'Appaltatore ha nel proprio scopo anche la fornitura di manti di copertura, pannellature, lamiera grecate per solette, lamiera striate, grigliati, porte, portoni, finestre, etc., il Committente fornirà anche un documento riportante le seguenti informazioni:

- manti di copertura e pannellature di parete:
tipologia richiesta, spessori minimi delle lamiera grecate, distanze massime tra le strutture di sostegno (arcarecci di copertura e listelli di parete), carichi da portare (neve, vento in pressione e depressione, comprese eventuali sovrappressioni locali), trattamento protettivo, sistema di fissaggio, grado di isolamento acustico, termico e resistenza al fuoco.
- lamiera grecate per solette:
spessori minimi, trattamento protettivo, distanza minima tra gli appoggi, requisiti di fissaggio, carichi da portare in fase di getto.
- grigliati e lamiera striate:
caratteristiche geometriche (altezza e spessore del piatto del grigliato, spessore delle lamiera striate), portata minima richiesta;
- scossaline e pluviali
spessori minimi, tipologia;
- porte, portoni e finestre:
tipologia, requisiti di resistenza al fuoco.

L'Appaltatore deve fornire i seguenti documenti progettuali al Committente:

- Disegni di progetto delle connessioni (A);
- Relazione di calcolo delle connessioni (A);
- Relazione illustrativa dei materiali adottati per manti di copertura, pannellature di parete, lamiera grecate, grigliati, porte, portoni, finestre, scossaline, pluviali, etc. (se nello scopo di fornitura) (A);
- Assiemi di montaggio (I/A);
- Costruttivi d'officina (I);
- Disegni *as-built* (I).

I disegni di progetto delle connessioni devono riassumere le tipologie di connessione adottate dall'Appaltatore e riportare tutte le indicazioni geometriche necessarie per valutarne la rispondenza ai criteri di progetto forniti dal Progettista, che rimane per legge il responsabile dell'intero progetto. Se sono previste connessioni ad attrito, devono essere indicati i coefficienti di attrito adottati. I costruttivi d'officina e gli assiemi di montaggio non devono contenere nessuna informazione ingegneristica che non sia stata già riportata nei disegni di progetto delle connessioni, ma essere solo uno sviluppo geometrico dei disegni di progetto delle strutture e di quelli delle connessioni.

I documenti contrassegnati con (A) devono essere approvati dal Progettista, nominato dal Committente, prima dell'inizio di ogni attività di costruzione; quelli contrassegnati con (I/A) devono essere esaminati dal Progettista, fermo restando la piena responsabilità dell'Appaltatore nell'assicurare il corretto sviluppo di tali documenti.

Il Progettista ha 30 giorni di tempo, salvo diversamente concordato, per approvare i suddetti documenti contrassegnati con (A). Trascorso tale termine di tempo, l'Appaltatore, previa comunicazione scritta, è autorizza-

to ad iniziare le proprie attività. Nel formulare il proprio programma cronologico l'Appaltatore deve tenere in considerazione i tempi suddetti per l'approvazione dei documenti di progetto.

Modalità di progettazione C:

L'Appaltatore è responsabile dell'esecuzione degli assiemi di montaggio e dei disegni costruttivi d'officina, sulla base dei disegni di progetto e dei dettagli tipici delle connessioni sviluppati dal Progettista nominato dal Committente. Al fine di consentire all'Appaltatore di svolgere nei tempi concordati la progettazione delle opere di sua competenza, il Committente, tramite il Progettista delle opere, fornirà:

- I disegni di progetto delle opere, con le indicazioni dei profili strutturali (Elenco da riportare nella Appendice A);
- I dettagli tipici delle connessioni con l'eventuale indicazione dei coefficienti di attrito per le unioni ad attrito (Elenco da riportare nella Appendice A);

Se l'Appaltatore ha nel proprio scopo anche la fornitura di manti di copertura, pannellature, lamiera grecate per solette, lamiera striate, grigliati, porte, portoni, finestre, etc., il Committente fornirà anche un documento riportante le seguenti informazioni:

- manti di copertura e pannellature di parete:
tipologia richiesta, spessori minimi delle lamiera grecate, distanze massime tra le strutture di sostegno (arcarecci di copertura e listelli di parete), carichi da portare (neve, vento in pressione e depressione, comprese eventuali sovrappressioni locali), trattamento protettivo, sistema di fissaggio, grado di isolamento acustico, termico e resistenza al fuoco.
- lamiera grecate per solette:
spessori minimi, trattamento protettivo, distanza minima tra gli appoggi, requisiti di fissaggio, carichi da portare in fase di getto.
- grigliati e lamiera striate:
caratteristiche geometriche (altezza e spessore del piatto del grigliato e dimensioni maglia, spessore delle lamiera striate), portata minima richiesta;
- scossaline e pluviali:
spessori minimi, tipologia;
- porte, portoni e finestre:
tipologia, requisiti di resistenza al fuoco.

L'Appaltatore deve fornire i seguenti documenti progettuali al Committente:

- Relazione illustrativa dei materiali adottati per manti di copertura, pannellature di parete, lamiera grecate, grigliati, porte, portoni, finestre, scossaline, pluviali, etc. (se nello scopo di fornitura) (A);
- Assiemi di montaggio (I/A);
- Costruttivi d'officina (I);
- Disegni *as-built* (I).

I costruttivi d'officina e gli assiemi di montaggio non devono contenere nessuna informazione ingegneristica ulteriore, ma devono essere solo uno sviluppo geometrico dei disegni di progetto delle strutture e di quelli delle connessioni forniti dal Progettista.

I documenti contrassegnati con (I/A) devono essere esaminati dal Progettista, fermo restando la piena responsabilità dell'Appaltatore nell'assicurare il corretto sviluppo di tali documenti.

Il Progettista ha 30 giorni di tempo, salvo diversamente pattuito, per approvare i suddetti documenti contrassegnati con (A). Trascorso tale termine di tempo, l'Appaltatore, previa comunicazione scritta, è autorizzato ad iniziare le proprie attività. Nel formulare il proprio programma cronologico l'Appaltatore deve tenere in considerazione i tempi suddetti per l'approvazione dei documenti di progetto.

Le informazioni minime che devono essere contenute nei documenti progettuali sono quelle elencate al punto 6.1.

Indipendentemente dalla modalità di progettazione, l'Appaltatore provvederà all'espletamento di tutte le pratiche autorizzative ai sensi della Legge 1086 e della Legge 64.

7. Classi di esecuzione delle strutture

Il Progettista, in accordo con il Committente, deve stabilire il livello di qualità di realizzazione dell'opera richiesto, individuando la classe di esecuzione (EXC1, EXC2, EXC3, EXC4), definita dalla UNI EN 1090-2 §4.1.2, che deve essere attribuita alle strutture dell'opera oggetto della fornitura, in funzione delle conseguenze, in termini di perdita di vite umane e danni economici, di un collasso o di un malfunzionamento delle opere, in funzione della severità delle azioni ambientali alle quali le opere sono soggette e in funzione della tipologia costruttiva adottata. Possono essere assegnate classi diverse a parti della stessa struttura. L'Appaltatore è tenuto ad applicare alle strutture fornite le prescrizioni stabilite dalla UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione assegnata.

Le classi di esecuzione vanno attribuite alle strutture o a parti di esse in funzione delle Classi di Conseguenze (CC), delle Categorie di Servizio (SC) e delle Categorie di Produzione (PC) come indicato in tabella 7.1.

Tabella 7.1 Determinazione delle classi di esecuzione

Classi di conseguenze		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

La definizione delle Classi di Conseguenze può essere effettuata con riferimento alla norma UNI EN 1990:2004, Appendice B – prospetto B.1, e alla norma UNI EN 1991-1-7:2006, Annex A – Table A.1.

La prima norma identifica 3 classi, da CC1 a CC3, la seconda scinde la classe CC2 in 2 sottoclassi. La tabella 7.2 riporta le definizioni e gli esempi di appartenenza di edifici vari alle 3 classi secondo le 2 normative citate.

Le classi S di utilizzo dei carroponti sono definite nella norma UNI CEN/TS 13001-3-1, appendice B – prospetto B.1, che è la parte 3 della UNI EN 13001-1, e qui riportate in tabella 7.3.

La determinazione delle Categorie di Servizio deve essere effettuata secondo i criteri di cui alla tabella 7.4.

La determinazione delle Categorie di Produzione deve essere effettuata secondo i criteri di cui alla tabella 7.5.

Tabella 7.2 Definizione delle classi di conseguenze

UNI EN 1990:2004, Appendice B (informativa)			UNI EN 1991-1-7:2006, Annex A (informativa)	
Classe	Descrizione	Esempi	Classe	Esempi
CC1	Conseguenze basse per perdita di vite umane, conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, edifici non presidiati (es.: magazzini), serre	1	Edifici agricoli – edifici raramente frequentati
CC2	Conseguenze medie per perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (es.: edificio per uffici)	2a – basso rischio	Edifici residenziali, uffici e hotel sino a 4 piani – edifici industriali sino a 3 piani – edifici scolastici monopiano – negozi sino a 3 piani o con meno di 1000 mq di area per piano - tutti gli edifici sino a 2 piani con max 2000 mq di area per piano, nei quali è ammesso il pubblico
			2b – alto rischio	Edifici residenziali, uffici e hotel da 5 a 15 piani – Edifici scolastici da 3 a 15 piani – ospedali sino a 3 piani – negozi da 4 a 15 piani – tutti gli edifici da 2000 a 5000 mq di area per piano, nei quali è ammesso il pubblico - parcheggi sino a 6 piani
CC3	Elevate conseguenze per perdita di vite umane, o conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate di impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (es.: sala da concerto)	3	Tutti gli edifici delle tipologie definite in classe 2° 2b ma con maggior numero di piani - Tutti gli edifici molto affollati – gli stadi con più di 5000 posti – edifici ospitanti stanze pericolose o attività rischiose

Tabella 7.3 Guida per la selezione delle classi S per le gru (da EN 13001-1)

N.	Tipologia della gru	Modo operativo	Classe S
1	Gru azionate a mano		S0 – S2
2	Gru di montaggio		S0 – S2
3	Gru in centrali elettriche		S1 – S3
4	Gru in depositi operazione intermittente		S4 – S5
5	Gru in depositi, gru con trave di sollevamento, gru in depositi di rottame	operazione continua	S6 – S8
6	Gru in officine		S3 – S5
7	Gru a carroponete, gru da demolizione	servizio con polipo o magnete	S6 – S8
8	Gru a ponte da colata		S6 – S8
9	Gru in miniere		S7 – S9
10	Gru a ponte strippaggio, gru da carico		S8 – S9
11	Gru a ponte da forgia		S6 – S8
12	Scaricatori, gru da immagazzinamento e recupero, gru a semi-portale, gru a portale con carrello o gru girevole	servizio con gancio	S4 – S6
13	Scaricatori, gru da immagazzinamento e recupero, gru a semi-portale, gru a portale con carrello o gru girevole	servizio con polipo o magnete	S6 – S8
14	Gru a cavalletto mobile con trasportatore fisso o mobile		S3 – S5
15	Gru in cantiere navale, gru con scivolo, gru d'armamento	servizio con gancio	S3 – S5
16	Gru da banchina, gru girevoli, gru galleggianti, gru girevole a spostamento orizzontale del carico	servizio con gancio	S4 – S6
17		servizio con polipo o magnete	S6 – S8
18	Gru galleggianti di grande capacità, gru a cavalletto di grande capacità		S1 – S3
19	Gru per il carico di una nave	servizio con gancio	
20		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
21	Gru a torre girevole per servizio di costruzione		S1 – S3
22	Gru di montaggio, derricks	servizio con gancio	S1 – S3
23	Gru girevoli montate su rotaia	servizio con gancio	S3 – S5
24		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
25	Gru ferroviaria, da utilizzarsi per il recupero di rotaia		S4 – S5
26	Gru caricatori, gru mobili	servizio con gancio	S2 – S5
27		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
28	Gru caricatori e gru mobili di grande capacità		S1 – S3

Tabella 7.4 Determinazione delle categorie di servizio

Categorie	Criteri
SC1	Strutture e componenti progettati per carichi quasi statici (ad es.: edifici); Strutture e componenti con connessioni progettate come non dissipative ($q = 1$) in zone sismiche a bassa sismicità; Strutture e componenti progettati per la fatica derivante dalle azioni di carroponi in classe S0.
SC2	Strutture e componenti progettati per la fatica secondo EN 1993 (ad es.: ponti ferroviari, carroponi dalla classe S1 alla S9, strutture suscettibili di vibrazioni indotte dal vento, folla o macchinario rotante); Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa o alta duttilità (CD"B" e CD"A") in zone sismiche a media o alta sismicità.

Note:

Classi di duttilità CD"B" e CD"A" sono definite nelle NTC2008, §7.2.1;

q = fattore di struttura (cfr. NTC2008, §7.3.1)

Classi di fatica dei carroponi S0-S9 definite in EN 1991-3 e EN 13001-1 (vedi tabella 7.3)

Per tutte le tipologie di strutture in zona sismica non classificabili nella presente tabella (ad es.: strutture progettate come non dissipative, $q=1$, in zone a media o alta sismicità) deve essere assunta la categoria SC2 a meno che non sia diversamente indicato nelle norme di riferimento vigenti.

Tabella 7.5 Determinazione delle categorie di produzione

Categoria	Criterio
PC1	Elementi strutturali non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio; Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità inferiore all'S355.
PC2	Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore all'S355; Elementi essenziali per l'integrità strutturale che sono assemblati con saldature in opera; Componenti formati a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la lavorazione; Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.

8. Materiali

8.1 Profilati e lamiere

I profili laminati a caldo, le lamiere ed i profili cavi finiti a caldo o formati a freddo per impiego strutturale devono essere conformi alle norme applicabili indicate in tabella 8.1.

I prodotti in acciaio strutturale, lamiere e nastri, da usare per la produzione di profilati piegati a freddo devono avere proprietà idonee per le lavorazioni di piegatura a freddo. Gli acciai al carbonio adatti per tale scopo sono elencati in tabella 8.2.

Tabella 8.1 – Profili laminati a caldo, lamiere e profili cavi: materiali, dimensioni e tolleranze

Prodotti	Condizioni tecniche di fornitura	Dimensioni	Tolleranze
Sezioni ad I ed H	UNI EN 10025-1/6 Per quanto applicabili (¹)	UNI 5397-5398(³)	UNI EN 10034
Profili ad I laminati a caldo ad ala rastremata		UNI 5679	UNI EN 10024
Profili a C o U		UNI EU 54	UNI EN 10279
Angolari		UNI EN 10056-1	UNI EN 10056-2
Sezioni a T		UNI EN 10055	UNI EN 10055
Piatti e lamiere		N/A	UNI EN 10029 (²) UNI EN 10051
Barre		UNI EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061	UNI EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061
Profili cavi finiti a caldo	UNI EN 10210-1	UNI EN 10210-2	UNI EN 10210-2
Profili cavi formati a freddo	UNI EN 10219-1	UNI EN 10219-2	UNI EN 10219-2

NOTE:
(¹) Materiali da impiegare:
S235, S275 e S355 JR, J0, J2 e K2 (UNI EN 10025-2, acciai non legati);
S275, S355, S420 e S460 N e NL (UNI EN 10025-3, acciai a grana fine);
S275, S355, S420 e S460 M e ML (UNI EN 10025-4, acciai a grana fine);
S235J0W, S235J2W, S355J0W, S355J2W e S355K2W (UNI EN 10025-5, acciai con resistenza alla corrosione migliorata).
(²) Tolleranza sullo spessore: Classe B; per serbatoi e ciminiere: Classe C.
(³) Valide soltanto per le dimensioni; per le tolleranze di laminazione vale la UNI EN 10034.

La scelta dei materiali deve essere riportata nei disegni di progetto (vedi §6.1).

Per i profilati, le lamiere ed i tirafondi deve essere indicata a loro denominazione completa (ad es.: S275 J0 UNI EN 10025-2), come indicato dalle UNI EN 10020 e UNI EN 10027-1 e 2, con indicazione, se applicabile, dei rivestimenti superficiali e del grado di finitura, e della applicabilità della zincatura a caldo. I materiali indicati nel progetto dovranno essere conformi alle prescrizioni applicabili del presente capitolato.

Il Progettista dovrà in particolare indicare il grado dell'acciaio (JR, J0, J2, K2) da adottare, in modo da evitare fragilità negli impieghi alle basse temperature. A tale scopo, per strutture sollecitate in flessione e/o trazione, in funzione degli spessori massimi previsti, dello stato di sforzo e della temperatura di riferimento T_{Ed} , potrà utilizzare la tabella 2.1 della norma UNI EN 1993-1-10. In mancanza di dati più precisi, si potrà assumere per T_{Ed} i valori di -25°C per strutture non protette e -10°C per strutture protette. La suddetta tabella 2.1 vale per elementi tesi, inflessi o tensoinflessi. Per elementi sicuramente sempre compressi si potrà valutare gli spessori massimi utilizzando la stessa tabella ma considerando, indipendentemente dallo sforzo reale, solo la colonna con $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$.

Il Progettista dovrà poi valutare se nel progetto sussiste per alcuni dettagli strutturali il rischio del manifestarsi del fenomeno del *lamellar tearing* (strappo lamellare). In caso positivo, potrà prescrivere l'uso di acciai con

caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto, secondo la norma UNI EN 10164. Per i dettagli nei quali è segnalato il rischio di strappo lamellare, l'Appaltatore dovrà dare evidenza di avere adottato idonei procedimenti di saldatura atti a minimizzare tali rischi.

La valutazione può essere fatta calcolando il parametro Z_{Ed} secondo le indicazioni del §3 della norma UNI EN 1993-1-10, e ricavando, con l'ausilio della tabella 3.2 della norma UNI EN 1993-1-1, l'eventuale valore richiesto per la classe Z secondo UNI EN 10164.

Se si sceglie un acciaio con caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto, esso va indicato nei disegni di progetto (ad esempio: S355 J2 UNI EN 10025-2 + Z25 UNI EN 10164).

Per profilati e lamiere da utilizzare in elementi dissipativi di strutture in classe di duttilità bassa o alta (CD"B" e CD"A") in zone a sismicità media o alta, dovrà risultare, dai documenti di controllo che accompagnano la fornitura o da risultati di idonee prove, che il valore della tensione di snervamento massima $f_{y,max}$ dell'acciaio non superi il valore caratteristico di più del 20%.

Se i componenti devono essere zincati a caldo, al fine di ottenere rivestimenti con aspetto lucido ed omogeneo e con tessitura fine dello strato di zinco, ed allo scopo di evitare il rischio della formazione di rivestimenti eccessivamente spessi, con conseguente possibile danneggiamento del rivestimento in seguito ad urti, è preferibile utilizzare acciai appartenenti alle categorie A e B di cui al prospetto 1 della norma UNI EN ISO 14713-2, e precisamente:

- Categoria A: acciai con contenuto di silicio (Si) $\leq 0,04\%$, e fosforo (P) $< 0,02\%$;
- Categoria B: acciai con contenuto di silicio (Si) $> 0,14\%$ e $\leq 0,25\%$, e fosforo (P) $< 0,035\%$.

Tabella 8.2 – Lamiere e nastri per piegatura a freddo: materiali, dimensioni e tolleranze

Prodotti	Condizioni tecniche di fornitura	Tolleranze
Acciai strutturali non legati	UNI EN 10025-2	UNI EN 10051
Acciai strutturali a grana fine	UNI EN 10025-3/4	UNI EN 10051
Acciai ad alto limite di snervamento per piegatura a freddo	UNI EN 10149-1/3 UNI EN 10268	UNI EN 10029, 10048, 10051, 10131, 10140
Lamiere di acciaio di qualità strutturali ridotte a freddo	ISO 4997	UNI EN 10131
Nastri e lamiere di acciaio ad alto limite di snervamento rivestiti per immersione a caldo in continuo per formatura a freddo	UNI EN 10346	UNI EN 10143
Prodotti piani di acciaio rivestiti in continuo con materiale organico (nastri rivestiti)	UNI EN 10169	UNI EN 10169
Nastri stretti non rivestiti laminati a freddo di acciaio dolce per formatura a freddo	UNI EN 10139	UNI EN 10048 UNI EN 10140

8.2 Bulloni non precaricati

I bulloni non precaricati sono quelli da impiegare in unioni a taglio.

Possono essere impiegati bulloni di classe 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8 e 8.8.

Le caratteristiche generali devono essere conformi alla UNI EN 15048-1; le caratteristiche meccaniche delle viti devono essere secondo la UNI EN ISO 898-1, quelle dei dadi secondo la UNI EN 20898-2, le prove d'idoneità d'impiego secondo UNI EN 15048-2. Le rondelle devono avere durezza minima 100 HV secondo UNI EN ISO 6507-1.

Gli accoppiamenti vite-dado-rondella consentiti sono riportati in tabella 8.2.1.

I bulloni possono essere in accordo alle UNI EN ISO 4014 e 4016 (gambo parzialmente filettato) o UNI EN ISO 4017 e 4018 (gambo interamente filettato). Se si adottano bulloni con vite con gambo interamente filettato, occorre avere specifica autorizzazione da parte del Progettista.

E' opportuno l'uso di una rondella al fine di non rovinare il trattamento protettivo con la rotazione del dado.

Tabella 8.2.1 – Accoppiamenti vite-dado-rondella per bulloni non precaricati

Vite [classe]	Dado [classe]	Rondella [durezza]
4.6, 4.8	4, 5, 6 oppure 8	100 HV min.
5.6, 5.8	5, 6 oppure 8	
6.8	6 oppure 8	
8.8	8 oppure 10	100 HV min; 300 HV min (*)
10.9	10 oppure 12	
(*) Per giunti a semplice sovrapposizione con una sola fila di bulloni (cfr. UNI EN 1993-1-8 §3.6.1)		

8.3 Bulloni precaricati

I bulloni precaricati sono quelli da impiegare nelle unioni ad attrito.

Possono essere impiegati bulloni di classe 8.8 e 10.9.

Essi devono essere conformi alla UNI EN 14399-1; le caratteristiche meccaniche devono essere secondo la UNI EN ISO 898-1. Possono essere impiegati bulloni tipo HR secondo UNI EN 14399-3 (assieme vite-dado), o del tipo HV secondo UNI EN 14399-4 (assieme vite-dado). Le rondelle devono essere secondo UNI EN 14399-5 (rondelle piane) oppure UNI EN 14399-6 (rondelle piane smussate).

Possono anche essere impiegati bulloni del tipo HRC a serraggio calibrato secondo UNI EN 14399-10.

I bulloni del tipo HR e HV possono anche essere impiegati con rondelle con indicazione di carico secondo UNI EN 14399-9.

I bulloni precaricati e non precaricati possono essere zincati a freddo secondo la UNI EN ISO 4042 o a caldo secondo UNI EN ISO 10684. Non è ammessa la zincatura a caldo per i bulloni classe 10.9. In alternativa possono adottarsi altri metodi di protezione purché approvati dal Produttore.

8.4 Tirafondi

I tirafondi devono essere ricavati da acciaio laminato a caldo secondo UNI EN 10025-2/4.

In alternativa essi possono essere in accordo a UNI EN ISO 898-1. Per l'impiego in strutture con duttilità media o alta (DC" B" o DC" A") questa seconda possibilità non è raccomandata.

Se richiesto, possono essere impiegati tirafondi ricavati da barre di armature per cemento armato non pre-compresso, con caratteristiche conformi a quanto indicato nella normativa NTC2008.

8.5 Lamiere grecate

Le lamiere grecate devono conformarsi alla norma di prodotto UNI EN 14782: 2006 "Lastre metalliche auto-portanti per coperture, rivestimenti esterni e interni - Specifica di prodotto e requisiti" che fornisce tra l'altro indicazioni delle tolleranze dimensionali. Le tolleranze sullo spessore devono essere secondo la UNI EN 10143:2006 "Lamiere sottili e nastri di acciaio con rivestimento applicato per immersione a caldo in continuo - Tolleranze sulla dimensione e sulla forma". I materiali saranno in conformità alla UNI EN 10346:2009 "Prodotti piani di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo - Condizioni tecniche di fornitura".

Se sono da impiegare come lamiere collaboranti nel getto di solai composti, il produttore deve dare evidenza di aver effettuato una specifica sperimentazione al fine di determinare la resistenza al taglio longitudinale di progetto $T_{u,Rd}$ della lamiera grecata. La sperimentazione e la elaborazione dei risultati sperimentali devono essere conformi alle prescrizioni dell'Appendice B.3 della norma UNI EN 1994-1-1:2005.

8.6 Grigliati metallici e lamiere striate o bugnate

Grigliati metallici, lamiere striate e bugnate saranno di norma realizzati in acciaio S235JR UNI EN 10025. I grigliati saranno di norma zincati a caldo.

8.7 Connettori per il taglio

I connettori per il taglio da impiegare nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo devono essere conformi ai requisiti della norma UNI EN ISO 13918.

E' possibile l'impiego di connettori collegati a freddo a mezzo di chiodi speciali, infissi mediante una chiodatrice a sparo o pneumatica. La capacità portante di questi connettori e l'efficacia del collegamento chiodato alla trave in acciaio devono essere indagate sperimentalmente seguendo le procedure delle normative di progetto per strutture miste acciaio-calcestruzzo: le CNR 10016/98 e/o l'Eurocodice 4 UNI - EN 1994-1-1 "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo" Annex B.

9. Lavorazioni d'officina

9.1 Identificazione, documenti d'ispezione e tracciabilità dei prodotti

Le caratteristiche tecniche dei componenti (profilati, lamiere, bulloni, elettrodi, lamiere grecate, grigliati, etc.) approvvigionati per le successive lavorazioni, devono essere documentate in modo da poter controllare se tali componenti soddisfano i requisiti richiesti dalle specifiche e norme applicabili.

I documenti d'ispezione di cui alla UNI EN 10204, relativi ai controlli sui materiali da parte del Produttore, devono essere conformi ai requisiti minimi riportati sulla UNI EN 1090-2 Tabella 1 con la seguente modifica: sono richiesti controlli specifici (documenti d'ispezione del tipo 3.1, secondo UNI EN 10204), cioè analisi chimiche, prove meccaniche e di resilienza, relativi alle unità di prova specifiche alle quali appartengono i materiali oggetto della fornitura, per tutti gli acciai strutturali di cui alle Tabelle 8.1 e 8.2.

L'officina di trasformazione dell'Appaltatore deve possedere i requisiti di legge stabiliti nel paragrafo 11.3.1.7 delle NTC.

Per le classi di esecuzione EXC3 ed EXC4 deve essere garantita la tracciabilità completa dei componenti, dal momento dell'approvvigionamento e ingresso in officina al momento della spedizione in cantiere e montaggio. Ogni componente cioè, contraddistinto da una marca nei disegni costruttivi d'officina, deve poter essere collegato, in tutte le parti principali costituenti la marca completa, al corrispondente lotto di fornitura ed ai documenti d'ispezione ad esso legati. L'Appaltatore deve essere dotato di un sistema di acquisizione, trattamento ed archiviazione di tali dati.

La tracciabilità completa dovrà in particolare essere garantita per ogni parte costituente un componente da impiegare come elemento dissipativo in una struttura calcolata secondo le regole del *capacity design* in zone a media o alta sismicità.

Per le classi di esecuzione EXC1 ed EXC2 si dovrà garantire che i materiali in ingresso (lamiere, profilati, bulloni, etc.) siano riconducibili ai rispettivi documenti d'ispezione di cui alla UNI EN 10204. Non è richiesta la tracciabilità dei singoli pezzi lavorati.

9.2 Marcatura delle strutture

Ciascun componente deve essere identificabile ad ogni stadio della lavorazione. I componenti completati devono essere marcati in modo permanente, senza danneggiare il materiale, in modo da essere chiaramente identificabili. Per acciai di classe inferiore o uguale alla S355, possono essere impiegate incisioni, ad eccezione dei casi indicati nelle specifiche di produzione. Qualora nei disegni di progetto, o nelle informazioni di fabbricazione siano individuate delle zone sulla struttura in acciaio non marcabili, esse devono essere lasciate libere da ogni sorta di marcatura o incisione.

9.3 Movimentazione e stoccaggio

Le strutture in acciaio devono essere imballate, movimentate e trasportate (in relazione ai casi) con cura, in maniera tale da non provocare deformazioni permanenti e minimizzare eventuali danni superficiali. Particolare cura deve essere posta per irrigidire le estremità libere e proteggere le superfici lavorate. Le misure preventive riportate nella Tabella 8 della UNI EN 1090-2 vanno applicate se pertinenti.

9.4 Taglio

Il taglio e la preparazione dei lembi dell'acciaio possono essere ottenuti mediante utilizzo di sega a disco, tranciatura, taglio automatico, piallatura, fresatura o altri tipi di lavorazioni. Il taglio manuale può essere impiegato solamente qualora sia impraticabile l'utilizzo del taglio automatico.

I bordi dovuti ai tagli termici che sono privi di notevoli irregolarità possono essere accettati senza ulteriori trattamenti, eccetto la rimozione delle sbavature. Diversamente, i bordi devono essere levigati per rimuovere le eventuali irregolarità. I livelli accettabili della qualità del taglio, definiti in accordo alla UNI EN ISO 9013, sono riportati nella Tabella 9 della UNI EN 1090-2 per le classi di esecuzione EXC2, EXC3 ed EXC4.

Gli intagli non possono essere a spigoli vivi. Essi devono essere raccordati con raggio di curvatura di 5 mm per classi di esecuzione EXC2 ed EXC3, e di 10 mm per classe di esecuzione EXC4.

Sono da evitare le operazioni di taglio in componenti già sottoposti a zincatura a caldo. Se comunque tali operazioni vengono effettuate, si deve procedere ad un idoneo ripristino della zincatura.

9.5 Formatura

La curvatura o il raddrizzamento degli elementi durante la produzione possono essere eseguiti secondo uno dei seguenti metodi:

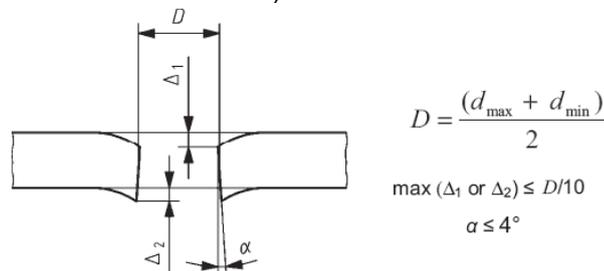
- Meccanicamente, avendo cura di ridurre al minimo le intaccature o le variazioni della sezione trasversale;
- Mediante applicazioni locali di calore, garantendo che la temperatura del metallo sia accuratamente controllata. Per le strutture in classe EXC3 ed EXC4 deve essere sviluppata una procedura e devono essere eseguiti dei casi-test per poterla approvare.
- Utilizzando un processo di calandratura, nel caso in cui la procedura utilizzata comprenda il controllo accurato della temperatura e sia validata anticipatamente in termini di mantenimento delle proprietà meccaniche dell'elemento curvato o raddrizzato. Profili piegati a freddo che raggiungono lo sforzo nominale di snervamento a seguito del processo di piegatura, non possono essere sottoposti a questo trattamento.

9.6 Forature

E' permessa la foratura con trapano attraverso più elementi qualora le differenti parti siano strettamente serrate fra di loro. Le parti devono essere separate dopo la foratura e ogni sbavatura deve essere rimossa.

La punzonatura completa del foro è permessa se le seguenti condizioni sono soddisfatte:

- la tolleranza sulla distorsione del foro punzonato non deve eccedere i limiti indicati nella figura seguente (tratta dal §6.6.3 della UNI EN 1090-2):



- i fori devono essere privi di sbavature che potrebbero ostacolare l'assemblaggio delle parti quando messe a contatto;
- lo spessore degli elementi non deve essere maggiore del diametro del foro punzonato.

Particolare attenzione va riservata alle operazioni di foratura in componenti da zincare a caldo, controllando accuratamente che i bordi dei fori punzonati siano esenti da microfratture che vanno eventualmente rimosse, ed eliminando eventuali ribave.

Sono da evitare le operazioni di foratura in componenti già sottoposti a zincatura a caldo. Se comunque tali operazioni vengono effettuate, si deve procedere ad un idoneo ripristino della zincatura.

Per gli elementi in classe di esecuzione EXC3 ed EXC4 la punzonatura deve essere eseguita garantendo che i fori presentino un diametro inferiore di 2 mm rispetto alla dimensione richiesta e che siano successivamente alesati fino ad ottenere il diametro finale richiesto per l'assemblaggio.

I fori asolati possono essere realizzati per punzonatura, per taglio termico o per mezzo di trapanatura, eseguendo due fori ed asportando per taglio la parte fra di essi.

I diametri dei fori devono essere in accordo alla NTC, e precisamente:

- I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato di 1 mm fino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro maggiore di 20 mm.

Se concordato con il Committente e/o il Progettista e/o il Direttore dei Lavori, si possono adottare i diametri dei "fori normali" stabiliti dalla UNI EN 1090-2 e riportati in tabella 9.6.1.

Tabella 9.6.1 – Giochi foro-bullone secondo EN 1090-2 – Valori in [mm]

Diametro nominale del bullone d [mm]	12	14	16	18	20	22	24	27 e oltre
Fori normali	1	2						3
Fori maggiorati	3	4				6	8	
Asole corte	4	6				8	10	
Asole lunghe	1,5 d							

La tolleranza ammessa sul diametro dei fori è di $\pm 0,5$ mm, dove per diametro si intende la media dei diametri misurati sulle due facce.

Le tolleranze ammesse sulla posizione dei fori rispetto agli assi teorici di foratura sono riportate nelle tabelle 12.9 e 12.16.

Se l'Appaltatore approvvigiona componenti prelaborati (componenti tagliati a misura e forati) da un Centro Servizi, questo deve fornire, insieme al materiale lavorato, un documento di ispezione che certifichi il rispetto per le forature eseguite delle tolleranze di diametro e posizione sopra riportate. I controlli dovranno essere effettuati sul 25% almeno dei fori. Tale documento, consegnato dal Centro Servizi all'Appaltatore, dovrà da questi essere consegnato al Committente ed al Direttore dei Lavori. In mancanza di tale documento, l'Appaltatore dovrà farsi carico di redigerlo e di eseguire i controlli relativi.

9.7 Assemblaggio e premontaggi

Le parti da assemblare devono essere posizionate in modo tale da realizzare un contatto stabile, conforme ai requisiti di assemblaggio o di vincolo richiesti.

È consentita una lieve variazione della posizione dei fori al fine di permettere l'allineamento dei diversi elementi, ma ciò non deve causare danni o distorsioni all'assemblaggio finale. Qualora le parti non possano essere unite senza movimenti che possono causare la distorsione della struttura metallica, nel caso in cui il progetto della connessione consenta l'utilizzo di fori e bulloni di diametro maggiore, si prevede una rettifica che può essere fatta mediante alesatura dei fori.

Per garantire la certezza di poter correttamente assemblare in opera i componenti bullonati, l'Appaltatore deve mettere in atto gli opportuni accorgimenti, in funzione della importanza dell'opera e della criticità dell'accoppiamento, quali:

- ricorso a dime di posizionamento;
- rilievi accurati tridimensionali della posizione dei fori con adeguati strumenti;
- premontaggi parziali o totali.

Il Committente e/o il Progettista, o il Direttore dei lavori possono richiedere all'Appaltatore il premontaggio in officina di parti di struttura, in funzione delle criticità di montaggio individuate.

Se il Committente non affida all'Appaltatore il montaggio in opera delle strutture, l'Appaltatore deve consegnare al Committente ed al Direttore dei Lavori, oltre a tutta la documentazione d'obbligo richiamata al §11.3 delle NTC, una Dichiarazione di Conformità al Montaggio delle strutture, dove si elencano i controlli eseguiti al fine di garantire la fattibilità del montaggio.

10. Saldatura

10.1 Generalità

L'Appaltatore deve garantire di effettuare saldature con adeguato livello di qualità, come definito nella norma UNI EN ISO 3834, ed in funzione della classe di esecuzione delle strutture, secondo quanto riportato in tabella 10.1.1. Tali prescrizioni non devono comunque risultare meno cautelative di quelle della tabella 11.3.XI delle NTC.

Tabella 10.1.1 - Requisiti di qualità applicabili

Classe di esecuzione	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
Requisiti di qualità del Costruttore secondo UNI EN ISO 3834	Elementare ISO 3834-4	Medio EN ISO 3834-3	Esteso EN ISO 3834-2	Esteso EN ISO 3834-2

Per le classi di esecuzione EXC2, EXC3 e EXC4 il coordinamento delle attività di saldatura deve essere mantenuto da appositi Coordinatori di Saldatura, qualificati secondo UNI EN ISO 14731.

Con riferimento alle operazioni di saldatura da supervisionare, i coordinatori di saldatura devono avere il livello di conoscenza prescritto in tabella 10.1.2.

Tabella 10.1.2 – Livello di conoscenza tecnica di Coordinatori di Saldatura secondo UNI EN ISO 14731

Classe	Acciaio	Spessori [mm]		
		$t \leq 25$ ⁽¹⁾	$25 < t \leq 50$ ⁽²⁾	$t > 50$
EXC2	S235-S355	B	S	C ⁽³⁾
	S420-S700	S	C ⁽⁴⁾	C
EXC3	S235-S355	S	C	C
	S420-S700	S	C	C
EXC4	Tutti	C	C	C

NOTE:
 B = di base; S = specifico; C = completo
 (1) Piastre di base delle colonne ≤ 50 mm
 (2) Piastre di base delle colonne ≤ 75 mm
 (3) Per acciai S235-S275 è sufficiente il grado S
 (4) Per acciai di qualità N, NL, M, ML è sufficiente il grado S

Tutte le giunzioni saldate devono essere eseguite con procedimenti qualificati. L'Appaltatore deve sviluppare delle idonee Specifiche di Saldatura (WPS) per ciascuna delle procedure che intende adottare secondo UNI EN ISO 15609. Le procedure devono essere qualificate secondo quanto prescritto da UNI EN ISO 15613, UNI EN ISO 15614-1 e UNI EN ISO 14555.

L'Appaltatore deve fornire al Committente ed al Direttore dei Lavori un Piano della Saldatura che contenga, oltre le WPS, i seguenti requisiti: misure da prendere per evitare distorsioni degli elementi durante e dopo la saldatura, requisiti per controlli intermedi, sequenze di saldatura, rotazione dei pezzi durante la saldatura, dettagli dei vincoli da applicare, misure per evitare il *lamellar tearing*, speciali accorgimenti ed attrezzature per i materiali di consumo, requisiti di accettazione delle saldature, requisiti per l'identificazione delle saldature, requisiti relativi ai trattamenti superficiali dei pezzi da saldare.

I principali procedimenti di saldatura ammessi sono:

- saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti;
- saldatura automatica ad arco sommerso;
- saldatura automatica o semiautomatica in gas protettivo a filo pieno e/o filo animato;
- saldatura automatica dei connettori (*stud welding*).

Le saldature testa a testa, prima di essere riprese dalla parte opposta devono essere solcate a rovescio con mola o con *arc air* seguito da molatura.

10.2 Qualifica dei saldatori

Tutti i saldatori impiegati devono essere certificati e qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606-1, gli operatori secondo la UNI EN 14732. A deroga parziale della norma UNI EN 9606-1, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo dovranno essere specificamente qualificati e non potranno essere qualificati soltanto mediante l'esecuzione di giunti testa-testa.

Le operazioni di saldatura per classi di esecuzione EXC2, EXC3 ed EXC4, devono essere coordinate da apposito personale di coordinamento qualificato per lo scopo e dotato della necessaria esperienza nei procedimenti di saldatura, come prescritto dalla tabella 10.1.2.

10.3 Preparazione dei lembi

I lembi devono essere preparati in modo conforme alle preparazioni usate nei test di validazione delle WPS. Le superfici da saldare devono essere asciutte e libere da ogni sostanza che possa compromettere la qualità della saldatura (ruggine, materiali organici o zincatura). Esse devono risultare prive di fessurazione visibile. Esempi di preparazione dei lembi sono riportate nelle norme UNI EN ISO 9692-1 e UNI EN ISO 9692-2.

Deve essere eseguito il controllo visivo secondo UNI EN ISO 17637 sul 100% dei lembi da saldare, al fine di accertare lo stato delle superfici, l'assenza di difetti affioranti e la corretta pulizia. Eventuali discontinuità riscontrate sul cianfrino devono essere riparate mediante molatura o molatura e saldatura, in accordo ai criteri riportati sulla tabella 0.3.2.3 delle AWS D.1.1.

Il controllo dimensionale deve essere eseguito sul 100% dei lembi, al fine di accertare la corretta geometria ed il rispetto delle tolleranze dimensionali.

Per i cianfrini di lamiera di spessore superiore od uguale a 40 mm, o anche per spessori minori se l'esame visivo lo consigliasse, e comunque su cianfrini per saldature a completa penetrazione, deve essere eseguito sull'intero sviluppo controllo magnetoscopico (preferenziale) o con liquidi penetranti (alternativo).

10.4 Materiali di consumo

I materiali di consumo per saldature devono essere conservati secondo le prescrizioni del Produttore.

Elettrodi e flussi per arco sommerso, salvo diversa indicazione da parte del Produttore, devono essere essiccati, se previsto, a 300-400 °C, quindi mantenuti in forno a temperatura di almeno 150 °C e conservati durante le operazioni di saldatura in fornelli portatili a non meno di 100 °C.

Gli elettrodi non usati devono essere essiccati ancora. L'essiccazione non può essere ripetuta più di due volte.

10.5 Controlli non distruttivi

I controlli non distruttivi (NDT) delle saldature devono essere eseguiti da personale qualificato secondo il livello 2 definito dalla UNI EN 473.

I controlli da eseguire sono in genere:

- controlli volumetrici: ultrasonici (UT) secondo UNI EN ISO 17640:2011 e UNI EN ISO 23279:2010, o radiografici (RT) secondo UNI EN ISO 17636:2013 (di massima solo per saldature a completa penetrazione, salvo se diversamente indicato);
- controlli superficiali: magnetoscopici (MT) secondo UNI EN ISO 17638:2010, o con liquidi penetranti (PT) secondo UNI EN ISO 3452-1:2013 (per saldature a completa penetrazione, parziale penetrazione e a cordoni d'angolo).

Il controllo visivo deve essere eseguito sul 100% delle saldature, con lo scopo di rilevare eventuali difetti di profilo e/o irregolarità superficiali. Se vengono trovati difetti, essi vanno investigati mediante successivi controlli MT o PT.

Per le strutture in classe di esecuzione EXC2, EXC3 ed EXC4, vanno comunque effettuati dei controlli sia superficiali (preferibilmente MT, o PT in alternativa) che volumetrici (UT), nella percentuale dello sviluppo totale delle saldature indicata nelle tabelle 10.5.1a oppure 10.5.1b. Indicando con $p\%$ l'entità percentuale di cui alle suddette tabelle, si possono applicare, in assenza di altri criteri, le regole seguenti:

- ciascuna saldatura del lotto di esame deve essere esaminata per una lunghezza minima $p\%$ della singola lunghezza. La zona da esaminare deve essere scelta sulla base della verifica visiva;
- se la lunghezza totale di tutte le saldature di un lotto di esame è minore di 900 mm, almeno una saldatura deve essere esaminata per l'intera lunghezza indipendentemente dal valore $p\%$;
- se un lotto di esame è costituito da parecchie saldature identiche, ciascuna di lunghezza minore di 900 mm, si devono esaminare per l'intera lunghezza un certo numero di saldature scelte a caso per una lunghezza totale minima $p\%$ della lunghezza totale di tutte le saldature del lotto di esame.

I controlli non potranno essere di entità inferiore a quanto previsto in tabella 10.5.1a, in linea con le prescrizioni della UNI EN 1090-2. Per strutture di particolare impegno, su richiesta del Cliente e/o del Direttore dei Lavori e/o del Collaudatore, possono essere prescritti i controlli di cui alla tabella 10.5.1b, o anche di entità maggiore, se ritenuto opportuno in base alle caratteristiche dell'opera.

Tabella 10.5.1a – Estensione minima dei controlli non distruttivi per saldature

Tipologia di saldatura	Controllo					
	MT / LT			UT / RT(***)		
	EXC2	EXC3	EXC4	EXC2	EXC3	EXC4
Giunti testa a testa o a T a completa penetrazione	10%	20%	100%	10%	20%	100%
Giunti a parziale penetrazione a croce	10%	20%	100%	-	-	-
Saldatura longitudinale a completa penetrazione o a cordoni d'angolo tra la piattabanda superiore e l'anima di travi di scorrimento di carroporti	10%	20%	100%	10%	20%	100%
Giunti a parziale penetrazione a T	5%	10%	50%	-	-	-
Saldature a cordoni d'angolo di lato > 12 mm e/o su spessore > 20 mm	5%	10%	20%	-	-	-
Saldature a cordoni d'angolo di lato ≤ 12 mm e/o su spessore ≤ 20 mm	-	5%	10%	-	-	-

Tabella 10.5.1b – Estensione dei controlli non distruttivi per saldature di strutture di particolare impegno

Tipologia di saldatura	Controllo					
	MT / LT			UT / RT(***)		
	EXC2	EXC3	EXC4	EXC2	EXC3	EXC4
Giunti testa a testa o a T a completa penetrazione	25%	50%	100%	25%	50%	100%
Giunti a parziale penetrazione	10%	20%	100%	5% (*)	10% (*)	20% (*)
Saldatura longitudinale a completa penetrazione o a cordoni d'angolo tra la piattabanda superiore e l'anima di travi di scorrimento di carroponti	25%	50%	100%	25%	50%	100%
Saldature a cordoni d'angolo	5%	10%	20%	5% (**)	10% (**)	20% (**)
(*) Se la profondità di penetrazione della saldatura è ≥ 8 mm. (**) Per cordoni d'angolo di lato ≥ 20 mm. (***) I controlli RT, in alternativa ai controlli UT, potranno essere impiegati preferibilmente in giunti testa a testa con spessori minori o uguali a 20 mm.						

Nel caso in cui si rilevi un difetto volumetrico, il controllo va esteso per un metro a cavallo della posizione di esso, o a due giunti vicini se l'estensione della saldatura è minore di un metro. Nel caso di difetti planari, il controllo va esteso al 100% del giunto, o dei giunti contigui dello stesso tipo, se l'estensione delle saldature è limitata.

Per le saldature a completa penetrazione effettuate in cantiere, l'estensione dei controlli da applicare è la seguente:

- Controlli MT / PT: 100%
- Controlli UT / RT: 100%

L'esecuzione di tali controlli va programmata in accordo con il Direttore dei Lavori.

Tutte le lamiere costituenti le piastre di base e tutte le lamiere di spessore maggiore o uguale a 60 mm devono essere controllate con ultrasuoni per la ricerca di eventuali sfogliature o sdoppiature. I controlli devono essere in accordo con la UNI EN 10160 classe S2 per il corpo della lamiera e classe E3 per i bordi. Prescrizioni più severe (S3 per la lamiera e E4 per i bordi) potranno essere richieste in casi particolari.

Per le classi di esecuzione EXC3 ed EXC4 devono essere controllati con classe S1 tutti i giunti cruciformi nei quali una lamiera trasmette prevalentemente sforzi di trazione attraverso un'altra lamiera di spessore quattro volte maggiore.

10.6 Criteri di accettabilità delle saldature

I criteri di accettabilità delle saldature sono i seguenti, con riferimento alla norma UNI EN ISO 5817:

- Livello di qualità C per la classe di esecuzione EXC1 ed EXC2;
- Livello di qualità B per la classe di esecuzione EXC3;
- Livello di qualità B per la classe di esecuzione EXC4 più i requisiti aggiuntivi della tabella 17 della norma UNI EN 1090-2.

Tutti i giunti non conformi ai criteri di accettabilità devono essere riparati.

Le attività di riparazione devono essere eseguiti nel seguente modo:

- asportazione del difetto e rifinitura con mola;
- verifica dell'eliminazione del difetto mediante MT, secondo UNI EN ISO 17638:2010;
- esecuzione della saldatura di riparazione secondo WPS approvata;
- controllo della saldatura di riparazione mediante lo stesso metodo di NDT con cui era stato rilevato il difetto;
- emissione del certificato di riparazione.

Se vengono riscontrati tratti di saldatura non conformi ai criteri di accettabilità, occorre eseguire ulteriori controlli, per esempio secondo i criteri dell'Appendice C della UNI EN ISO 17635:2010.

11. Bullonatura

11.1 Generalità

Non possono essere impiegati bulloni strutturali di diametro inferiore all'M12.

Nei bulloni non precaricati la lunghezza del gambo deve essere scelta in modo tale che, dopo il serraggio, almeno un giro completo del filetto sia visibile tra il dado e la parte non filettata del gambo, ed almeno un filetto sia visibile tra la faccia esterna del dado e il termine del gambo.

Nei bulloni precaricati tipo HR (UNI EN 14399-3 e UNI EN 14399-7) dopo il serraggio devono essere visibili almeno quattro filetti completi tra la superficie di serraggio del dado e l'inizio del gambo non filettato.

Nei bulloni precaricati tipo HV (UNI EN 14399-4 e UNI EN 14399-8) lo spessore di serraggio deve essere in accordo alla tabella A.1 della norma UNI EN 14399-4.

Per i bulloni non precaricati è richiesta una sola rondella sotto il dado, o comunque sotto la parte (dado o testa) che viene ruotata per il serraggio.

Per i bulloni classe 8.8, se usati come precaricati, si richiede l'uso di una sola rondella sotto la parte (testa o dado) che viene ruotata: smussata se sotto la testa (in accordo a UNI EN 14399-6), piana se sotto il dado (UNI EN 14399-5).

Per i bulloni 10.9, se usati come precaricati, si richiede l'uso di 2 rondelle: una smussata sotto la testa (secondo

UNI EN 14399-6) ed una piana sotto il dado (secondo UNI EN 14399-5).

I bulloni non precaricati devono avere un tratto non filettato di lunghezza tale che le sezioni di taglio (tra un elemento collegato e l'altro) rientrino in tale tratto. L'eventuale uso di bulloni non precaricati con il gambo totalmente filettato deve essere subordinato alla approvazione del Progettista. Deve essere lasciata evidenza di tale approvazione. La lunghezza del gambo di tali bulloni dovrà consentire che, dopo il serraggio, rimanga almeno un passo del filetto tra la fine del gambo e la faccia del dado.

11.2 Serraggio dei bulloni precaricati

Il serraggio dei bulloni precaricati deve generare nel gambo una forza di precarico $F_{p,C}$ pari a:

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

Dove f_{ub} è la tensione nominale di rottura dei bulloni ed A_s è l'area netta del gambo.

Per generare tale precarico deve essere applicata una coppia di serraggio M_r pari a:

$$M_r = k \cdot d \cdot F_{p,C}$$

Dove d è il diametro nominale del gambo e k è il *coefficiente di rendimento di coppia* che deve essere determinato sperimentalmente dal Produttore e indicato sulla confezione dei bulloni.

In accordo alla UNI EN 14399-1 il Produttore può indicare il coefficiente k secondo uno dei tre metodi seguenti:

K0: nessuna indicazione per il valore k ;

K1: indicato campo di variabilità di k da un minimo ad un massimo (deve essere: $0,10 \leq k \leq 0,16$);

K2: indicato valor medio k_m più coefficiente di variazione V_k (deve essere: $0,10 \leq k_m \leq 0,23$; $V_k \leq 0,10$),

La modalità K0 non è ammessa con i bulloni HR ed HV, a meno che non vengano impiegati con rondelle ad indicazione di carico (DTI), secondo UNI EN 14399-9.

Nelle tabelle 11.2.1 e 11.2.2 sono riportati, per i bulloni di classe 8.8 e 10.9, per i diametri da 12 a 36 mm e per i valori di k da 0,10 a 0,16, i valori della coppia di serraggio M_r da applicare.

Tabella 11.2.1 – Coppie di serraggio per bulloni 8.8 UNI EN 14399 [Nm]

Bulloni 8.8		<i>k</i>				
Diam.	A_s [mm ²]	$F_{p,c}$ [kN]	0,10	0,12	0,14	0,16
12	84,3	47,2	56,6	68,0	79,3	90,6
14	115	64,4	90,2	108,2	126,2	144,3
16	157	87,9	140,7	168,8	196,9	225,1
18	192	107,5	193,5	232,2	271,0	309,7
20	245	137,2	274,4	329,3	384,2	439,0
22	303	169,7	373,3	448,0	522,6	597,3
24	353	197,7	474,4	569,3	664,2	759,1
27	459	257,0	694,0	832,8	971,6	1110,4
30	561	314,2	942,5	1131,0	1319,5	1508,0
36	817	457,5	1647,1	1976,5	2305,9	2635,3

Tabella 11.2.2– Coppie di serraggio per bulloni 10.9 UNI EN 14399 [Nm]

Bulloni 10.9		<i>k</i>				
Diam.	A_s [mm ²]	$F_{p,c}$ [kN]	0,10	0,12	0,14	0,16
12	84,3	59,0	70,8	85,0	99,1	113,3
14	115	80,5	112,7	135,2	157,8	180,3
16	157	109,9	175,8	211,0	246,2	281,3
18	192	134,4	241,9	290,3	338,7	387,1
20	245	171,5	343,0	411,6	480,2	548,8
22	303	212,1	466,6	559,9	653,3	746,6
24	353	247,1	593,0	711,6	830,3	948,9
27	459	321,3	867,5	1041,0	1214,5	1388,0
30	561	392,7	1178,1	1413,7	1649,3	1885,0
36	817	571,9	2058,8	2470,6	2882,4	3294,1

Possono essere applicati i seguenti metodi di serraggio:

- *Metodo della coppia* (da usare quando il coefficiente *k* è fornito in modalità K2): si serrano con chiave dinamometrica tutti i bulloni di una connessione a circa $0,75 M_r$, poi in un secondo passo a $1,1 M_r$. Nel calcolare M_r si applica il valor medio del coefficiente *k* fornito.
- *Metodo combinato* (da usare quando il coefficiente *k* è fornito in modalità K1 o K2): si serrano con chiave dinamometrica tutti i bulloni di una connessione a circa $0,75 M_r$, poi si impone una rotazione al dado che, a seconda degli spessori serrati dal bullone, vale:

60° per $t < 2d$
 90° per $2d \leq t \leq 6d$
 120° per $6d \leq t \leq 10d$

Dove *t* è la somma degli spessori da serrare, comprese le rondelle.

Se è disponibile una procedura del Produttore relativa al serraggio dei bulloni e/o ai controlli da effettuare durante e dopo il serraggio, essa dovrà essere applicata.

- *Metodo dell'indicatore diretto della pretensione DTI* (da usare quando il coefficiente k è fornito in modalità K0, K1 o K2), consistente nell'uso di speciali rondelle comprimibili secondo UNI EN 14399-9, e in accordo a quanto prescritto nell'Appendice J della UNI EN 1090-2, e/o in conformità alle prescrizioni del Produttore.
- *Metodo HRC*, da usare con bulloneria HRC secondo UNI EN 14399-10, in accordo al §8.5.5 delle UNI EN 1090-2 e/o in conformità alle prescrizioni del Produttore.

Le chiavi dinamometriche usate per il serraggio dei bulloni precaricati devono avere una precisione di $\pm 4\%$ con il metodo della coppia e di $\pm 10\%$ con il metodo combinato, secondo UNI EN ISO 6789, e devono essere sottoposte a taratura in accordo a quanto prescritto dalla norma citata. L'Appaltatore deve consegnare al Direttore dei Lavori il certificato attestante l'avvenuta taratura.

Tabella 11.2.3– Coefficienti d'attrito μ in funzione del trattamento superficiale

Trattamento superficiale	μ
Superfici sabbiare, esenti da qualsiasi incrostazione di ruggine, non pitturate	0,50
Superfici sabbiare con applicazione a spruzzo di <i>primer</i> a base di alluminio o zinco	0,40
Superfici pulite con spazzolatura a filo o con pulitura a fiamma, con rimozione di tutta la ruggine libera	0,30
Superfici non trattate	0,20

Le superfici di contatto per unioni ad attrito devono essere prive di sostanze quali olio, pittura, sporco che possano ridurre il coefficiente di attrito. Il coefficiente d'attrito μ da assumere sarà conforme ai valori riportati in tabella 11.2.3.

Il Progettista deve fornire all'Appaltatore i valori dei coefficienti d'attrito che ha usato nel calcolo delle connessioni ad attrito, se presenti. L'Appaltatore deve preparare le superfici in modo da poter raggiungere valori non minori di quelli richiesti.

L'adozione di giunzioni ad attrito per connettere elementi zincati a caldo non è in genere ammessa.

Se comunque, in condizioni particolari e per espressa indicazione da parte del Progettista, si adottano giunzioni ad attrito con elementi zincati, occorre trattare le superfici zincate in modo opportuno, mediante spazzolatura o leggera sabbiatura per rimuovere lo strato superficiale di zinco puro (zincatura lucida) ed esporre gli strati di lega zinco-ferro sottostanti. E' altresì necessario procedere alla determinazione sperimentale del coefficiente di attrito, in accordo all'Annex G della norma UNI EN 1090-2. Il Progettista dovrà verificare le connessioni usando un coefficiente d'attrito non superiore a quello determinato sperimentalmente.

11.3 Serraggio dei bulloni non precaricati

Prima dell'inizio delle operazioni di serraggio tutte le connessioni devono essere sottoposte a controllo visivo.

I bulloni non precaricati devono essere avvitati fino a portare le parti che costituiscono il giunto a pieno contatto. Quindi i bulloni devono essere serrati con la normale forza che un uomo riesce ad applicare usando una chiave senza prolunga. Speciale cura deve essere posta nel serraggio dei bulloni di basso diametro per evitare il raggiungimento della tensione di snervamento.

In alternativa i bulloni non precaricati soggetti a trazione possono essere serrati applicando le coppie di cui alla tabella 11.3.1, mentre quelli soggetti solo a taglio possono essere serrati applicando le coppie di cui alla tabella 11.3.2.

Tali coppie sono state calcolate con un coefficiente $k = 0,20$. Se per i bulloni di classe 8.8 è specificato un valore di k diverso, si dovranno calcolare gli opportuni valori.

Tali coppie sono da applicarsi per bulloni bruniti. Per bulloni zincati i valori vanno ridotti del 25%.

Tabella 11.3.1 – Coppie di serraggio per bulloni non precaricati soggetti a trazione [Nm]

Diametro [mm]	A _s [mm ²]	Classe bullone					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
12	84.3	39	45	48	57	68	91
14	115	62	72	77	90	108	144
16	157	96	113	121	141	169	225
18	192	133	155	166	194	232	310
20	245	188	220	235	274	329	439
22	303	256	299	320	373	448	597
24	353	325	380	407	474	569	759
27	459	476	555	595	694	833	1110
30	561	646	754	808	943	1131	1508
36	817	1130	1318	1412	1647	1976	2635

Tabella 11.3.2 – Coppie di serraggio per bulloni non precaricati soggetti solo a taglio [Nm]

Diametro [mm]	A _s [mm ²]	Classe bullone					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
12	84.3	31	36	39	45	54	73
14	115	50	58	62	72	86	115
16	157	77	90	97	113	135	180
18	192	106	124	133	155	186	248
20	245	150	176	188	220	263	351
22	303	205	239	256	298	358	478
24	353	260	304	325	379	455	607
27	459	381	444	476	555	666	888
30	561	517	603	646	754	905	1206
36	817	904	1054	1130	1318	1581	2108

11.4 Controllo del serraggio dei bulloni precaricati

Per le unioni ad attrito in classe di esecuzione EXC2, EXC3 ed EXC4, devono essere svolti controlli durante e dopo il serraggio dei giunti, secondo quanto prescritto nella tabella 11.4.1.

Tabella 11.4.1 – Prescrizioni per il controllo del serraggio dei bulloni precaricati

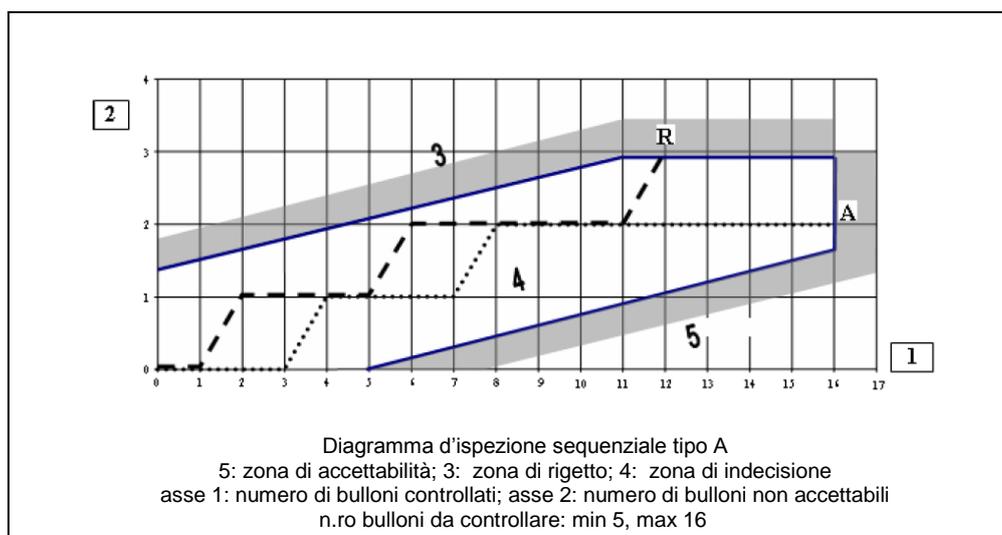
FASE	ESTENSIONE	AZIONE
Ispezione delle superfici di contatto	100% per tutte le classi EXC	Controllo visivo
Connessioni prima del serraggio	100% per tutte le classi EXC	Controllo visivo – Eventuali aggiustaggi mediante spessoramento
	EXC2, EXC3 ed EXC4	Controllo dei certificati di taratura delle chiavi dinamometriche
Metodo della coppia – 2. fase	EXC2 : 5% EXC3, EXC4: 10%	Applicazione con chiave dinamometrica di 1,05 <i>M</i> _r e verifica che ci sia un inizio di rotazione; se rotazione > 15° il bullone deve essere serrato ancora
Metodo combinato – 1. fase	EXC2 : --- EXC3, EXC4: 5%	Applicazione con chiave dinamometrica di 0,75 <i>M</i> _r e verifica che ci sia un inizio di rotazione; se rotazione > 15° il bullone deve essere serrato ancora
Metodo combinato – 2. fase	EXC2 : 5% EXC3, EXC4: 10%	Se l'angolo di rotazione è sotto il valore specificato di più di 15°, correggere l'angolo; se l'angolo di rotazione è sopra il valore specificato di più di 30°, sostituire il bullone.

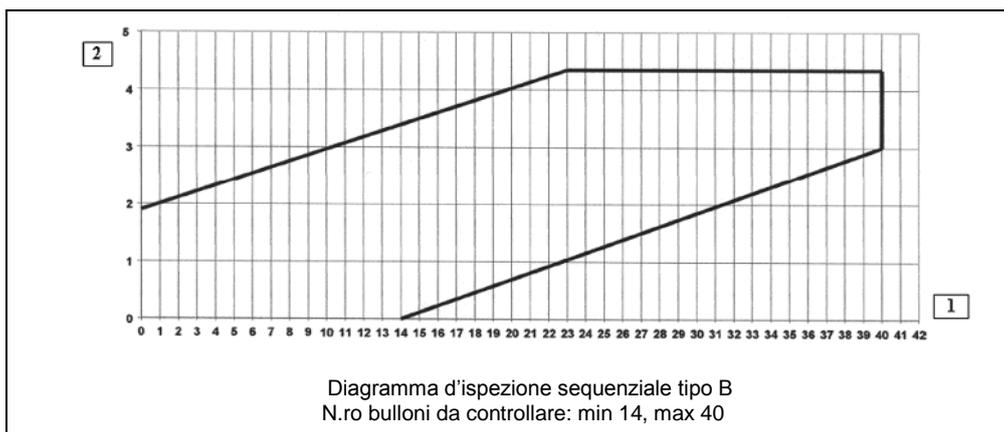
I controlli sul serraggio, nella misura stabilita in tabella 11.4.1, vanno eseguiti secondo il metodo sequenziale illustrato in tabella 11.4.2, impiegando il diagramma tipo A per le classi di esecuzione EXC2 ed EXC3, e il diagramma tipo B per la classe di esecuzione EXC4.

Esempi d'uso del diagramma d'ispezione tipo A.

- Linea punteggiata: il controllo dei primi 3 bulloni ha dato esito positivo, il 4° negativo, il 5°, 6° e 7° ancora positivo, il controllo è continuato dall'8° al 14° bullone con esito positivo, finché la linea punteggiata ha incrociato la linea di confine verticale. Il risultato globale è: accettazione.
- Linea tratteggiata: il primo bullone è risultato positivo, il 2° negativo, il 3°, 4° e 5° positivi, il 6° negativo, dal 7° all'11° positivi, il 12° negativo. La linea tratteggiata ha intersecato il confine nella zona di rigetto, perciò il risultato globale è: rigetto.

Tabella 11.4.2– Diagrammi d'ispezione sequenziale per il controllo del serraggio dei bulloni pretesi





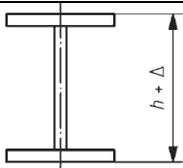
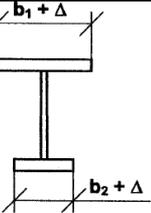
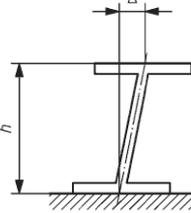
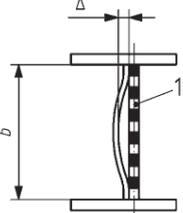
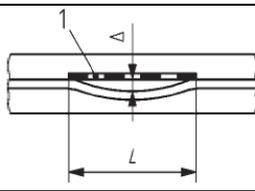
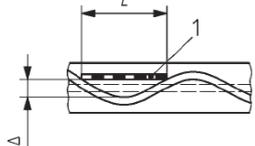
12. Tolleranze di fabbricazione

Le tolleranze di fabbricazione definite “essenziali” di cui alla UNI EN 1090-2, §11.1 e tabelle D.1.1 – D.1.10, sono quelle il cui mancato rispetto può alterare alcune ipotesi sulle quali le strutture sono state calcolate. Esse devono essere in ogni caso rispettate nel corso del processo di fabbricazione. Per i componenti per i quali risultasse il mancato rispetto di una o più di tali limiti, dovrà essere emessa una azione di non conformità ed esaminate le opportune azioni correttive da intraprendere, che potrebbero consistere anche soltanto in un ricalcolo dell’elemento strutturale interessato, che dimostri, nonostante le non conformità geometriche, comunque il rispetto dei requisiti di stabilità e resistenza stabiliti dalle norme. Delle non conformità e della azione correttiva adottata dovrà essere data comunicazione al Committente e al Direttore dei Lavori.

Le tolleranze di fabbricazione “funzionali” di cui alla UNI EN 1090-2 tabelle D.2.1 – D.2.13 sono quelle che attengono ai problemi di compatibilità con altri materiali, di estetica, etc. L’Appaltatore (se si è scelta la modalità di progettazione A) o il Progettista per conto del Committente (se si è scelta la modalità B o C) devono scegliere, tra tali tolleranze, la classe più opportuna (1 o 2, con prescrizioni più restrittive passando dalla prima alla seconda) per le strutture, o per parti di esse, in funzione della tipologia delle strutture e delle interfacce con altri elementi strutturali o non strutturali. La scelta del livello di tolleranze adottato va indicata al punto 2 – Oggetto.

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le principali tolleranze di fabbricazione, sia essenziali che funzionali, da rispettare.

Tabella 12.1 - Profili composti saldati – tolleranze di fabbricazione essenziali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 Altezza globale h	$\Delta = -\frac{h}{50}$ nessun valore positivo
2	 Larghezza delle flange ($b = b_1$ o b_2)	$\Delta = -\frac{b}{100}$ nessun valore positivo
3	 Verticalità dell'anima agli appoggi, per componenti senza irrigidimenti agli appoggi	$\Delta = \pm \frac{h}{200}$ $|\Delta| = t_w$ (*) ($t_w =$ spessore anima)
4	 Deviazione Δ sull'altezza dell'anima b	$\Delta = \pm \frac{b}{200}$ se $b/t_w \leq 80$ $\Delta = \pm b^2 / (16000 t_w)$ se $80 \leq b/t_w \leq 200$ $\Delta = \pm b/80$ se $b/t_w > 200$ $|\Delta| = t_w$
5	 Deviazione Δ sulla lunghezza di misura L uguale all'altezza dell'anima b (distorsione dell'anima)	$\Delta = \pm \frac{b}{100}$ $|\Delta| = t_w$
6	 Deviazione Δ sulla lunghezza di misura L uguale all'altezza dell'anima b (ondulazione dell'anima)	$\Delta = \pm \frac{b}{100}$ $|\Delta| = t_w$

(*) (Nota generale) Una espressione del tipo: " $\Delta = \pm h/200$; $|\Delta| = t_w$ " significa: il maggiore tra i 2 valori calcolabili per Δ , $h/200$ oppure t_w , è accettabile.

Tabella 12.2 – Flange di profili composti saldati – tolleranze di fabbricazione essenziali

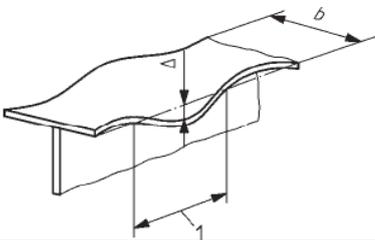
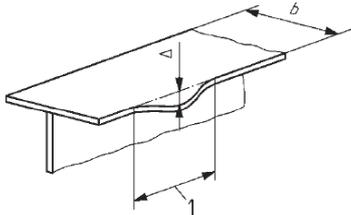
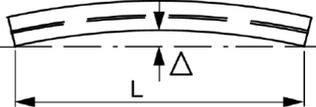
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1		$\Delta = \pm \frac{b}{150} \text{ se } b/t \leq 20$ $\Delta = \pm b^2 / (3000t) \text{ se } b/t > 20$ t = spessore flangia
2		$\Delta = \pm \frac{b}{150} \text{ se } b/t \leq 20$ $\Delta = \pm b^2 / (3000t) \text{ se } b/t > 20$ t = spessore flangia
3		$\Delta = \pm \frac{L}{750}$

Tabella 12.3 – Flange di profili scatolati saldati – tolleranze di fabbricazione essenziali

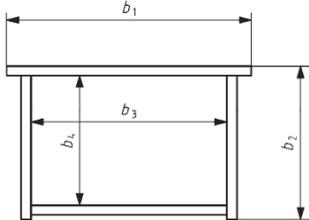
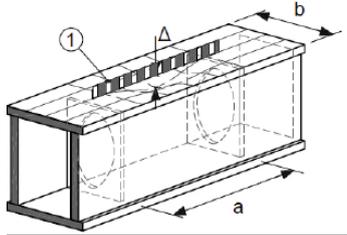
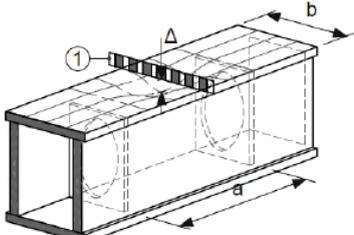
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1		$\Delta = - \frac{b_i}{100}$ i=1,2,3,4 nessun valore positivo
2		$a \leq 2b :$ $\Delta = \pm \frac{a}{250}$ $a > 2b :$ $\Delta = \pm \frac{b}{125}$
3		$b \leq 2a :$ $\Delta = \pm \frac{b}{250}$ $b > 2a :$ $\Delta = \pm \frac{a}{125}$

Tabella 12.4 – Irrigidimenti d'anima di profili composti o scatolati saldati – tolleranze di fabbricazione essenziali

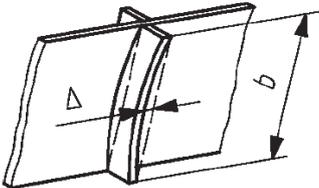
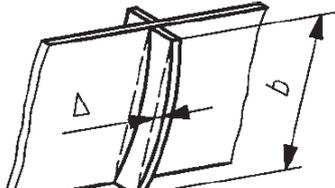
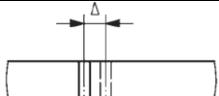
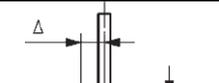
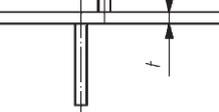
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1		$\Delta = \pm \frac{b}{250}$ $|\Delta| = 4 \text{ mm}$
2		$\Delta = \pm \frac{b}{500}$ $|\Delta| = 4 \text{ mm}$
3		$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
4		$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$
5		$\Delta = \pm \frac{t}{2}$
6		$\Delta = \pm \frac{t}{3}$

Tabella 12.5 – Piastre nervate – tolleranze di fabbricazione essenziali

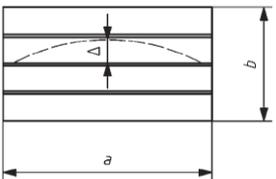
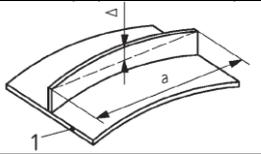
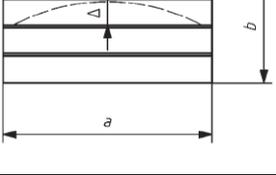
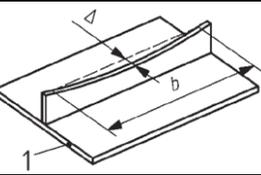
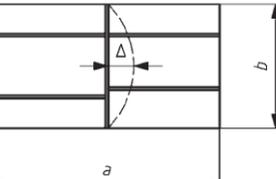
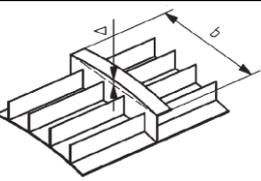
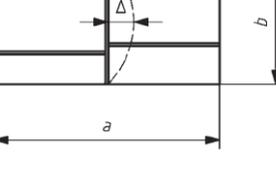
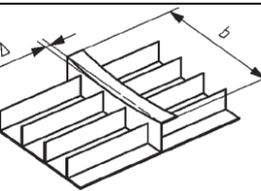
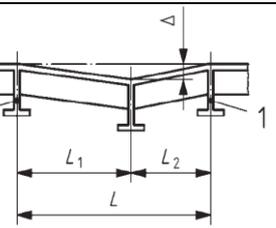
N.	Descrizione		Tolleranza ammessa
1	<p>Rettilinearità degli irrigidimenti: irrigid. long. in piastre irrigidite longitudinalmente</p> 		<p>Deviazione Δ perpendicolare alla piastra: $\Delta = \pm a/400$</p>
2			<p>Deviazione Δ parallela alla piastra, su una lunghezza di misura uguale alla larghezza b: $\Delta = \pm b/400$</p>
3	<p>Rettilinearità degli irrigidimenti: irrigid. trasv. in piastre irrigidite longitudinalmente e trasversalmente</p> 		<p>Deviazione Δ perpendicolare alla piastra: Il minore tra: $\Delta = \pm a/400$; $\Delta = \pm b/400$</p>
4			<p>Deviazione Δ parallela alla piastra: $\Delta = \pm b/400$</p>
5		<p>Differenza di quota tra irrigidimenti trasversali adiacenti</p>	<p>$\Delta = \pm L/400$</p>

Tabella 12.6 - Profili piegati a freddo – tolleranze di fabbricazione essenziali

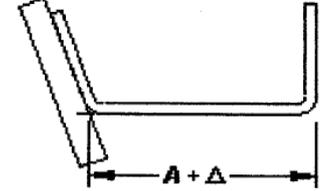
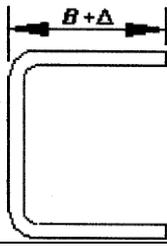
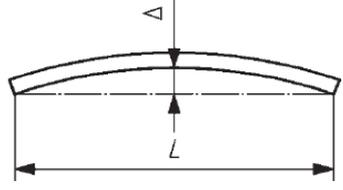
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Larghezza A tra due piegature</p>	$\Delta = -\frac{A}{50}$ <p>nessun valore positivo</p>
2	 <p>Larghezza B tra una piegatura ed un bordo libero</p>	$\Delta = -\frac{B}{80}$ <p>nessun valore positivo</p>
3	 <p>Deviazione Δ dalla rettilinearità</p>	$\Delta = \pm \frac{L}{750}$

Tabella 12.7 – Lamiere piegate a freddo – tolleranze di fabbricazione essenziali

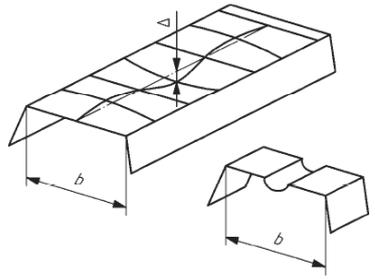
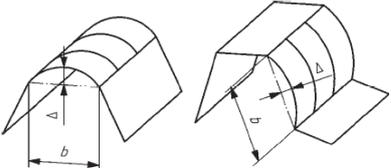
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Planarità di flange o anime irrigidite o non irrigidite: Deviazione Δ dalla planarità</p>	$\Delta = \pm \frac{b}{50}$
2	 <p>Curvatura di flange o anime: Deviazione Δ dalla superficie teorica</p>	$\Delta = \pm \frac{b}{50}$

Tabella 12.8 – Strutture tralicciate – tolleranze di fabbricazione essenziali

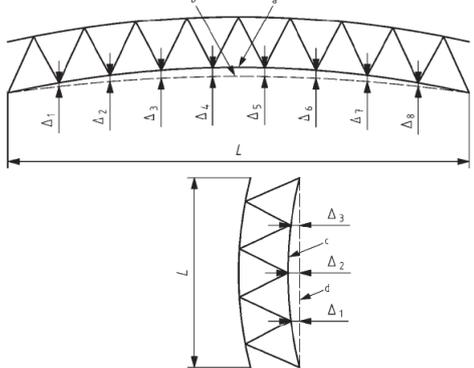
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Scostamento Δ_i di ciascun nodo dalla posizione teorica lungo una linea retta o lungo il profilo di premonta, se previsto, misurato con struttura adagiata in piano</p>	$\Delta_i = \pm \frac{L}{500}$ $|\Delta_i| = 12 \text{ mm}$ il valore maggiore dei due

Tabella 12.9 - Forature – tolleranze di fabbricazione essenziali

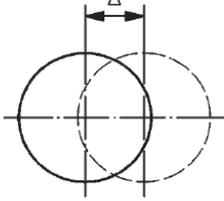
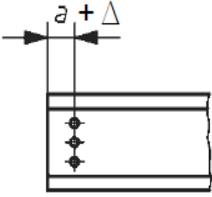
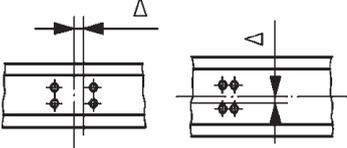
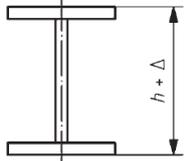
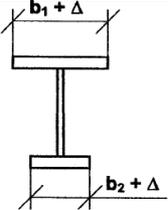
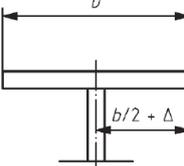
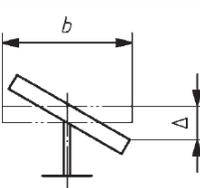
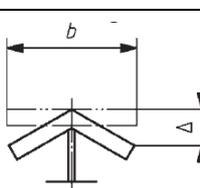
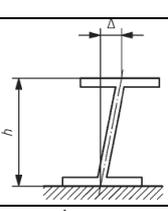
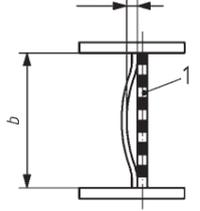
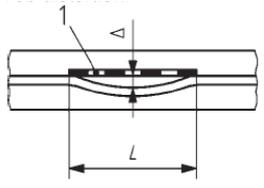
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Deviazione Δ dell'asse di un singolo foro dalla posizione teorica all'interno di un gruppo di fori</p>	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$
2	 <p>Variazione Δ della distanza a di un foro da un bordo libero</p>	$\Delta = - 0 \text{ mm}$ (Nessun valore positivo prescritto)
3	 <p>Deviazione Δ di un gruppo di fori dalla posizione teorica</p>	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$

Tabella 12.10 - Profili composti saldati – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Altezza globale h: $h \leq 900$ mm: $900 < h \leq 1800$ mm: $h > 1800$ mm:</p>	$\Delta = \pm 3$ mm $\Delta = \pm h / 300$ $\Delta = \pm 6$ mm	$\Delta = \pm 2$ mm $\Delta = \pm h / 450$ $\Delta = \pm 4$ mm
2	 <p>Larghezza delle flange ($b = b_1$ o b_2)</p>	$\Delta = + b / 100$ $|\Delta| = 3$ mm	$\Delta = + b / 100$ $|\Delta| = 2$ mm
3	 <p>Eccentricità dell'anima: - in generale: - flangia in contatto con appoggi strutturali:</p>	$\Delta = \pm 5$ mm $\Delta = \pm 3$ mm	$\Delta = \pm 4$ mm $\Delta = \pm 2$ mm
4	 <p>Non perpendicolarità flangia-anima: - in generale: - flangia in contatto con appoggi strutturali:</p>	$\Delta = \pm b / 100$ $|\Delta| = 5$ mm $\Delta = \pm b / 400$	$\Delta = \pm b / 100$ $|\Delta| = 3$ mm $\Delta = \pm b / 400$
5	 <p>Fuori piano flangia: - in generale: - flangia in contatto con appoggi strutturali:</p>	$\Delta = \pm b / 150$ $|\Delta| = 3$ mm $\Delta = \pm b / 400$	$\Delta = \pm b / 150$ $|\Delta| = 2$ mm $\Delta = \pm b / 400$
6	 <p>Verticalità dell'anima agli appoggi, per componenti senza irrigidimenti agli appoggi</p>	$\Delta = \pm b / 300$ $|\Delta| = 3$ mm	$\Delta = \pm b / 500$ $|\Delta| = 2$ mm
7	 <p>Deviazione Δ sull'altezza dell'anima b (*)</p>	$\Delta = \pm b / 100$ $|\Delta| = 5$ mm	$\Delta = \pm b / 150$ $|\Delta| = 3$ mm
8	 <p>Deviazione Δ sulla lunghezza di misura L uguale all'altezza dell'anima b (distorsione dell'anima) (*)</p>	$\Delta = \pm b / 100$ $|\Delta| = 5$ mm	$\Delta = \pm b / 150$ $|\Delta| = 3$ mm

9		Deviazione Δ sulla lunghezza di misura L uguale all'altezza dell'anima b (ondulazione dell'anima) (*)	$\Delta = \pm b / 100$ $|\Delta| = 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm b / 150$ $|\Delta| = 3 \text{ mm}$
---	--	--	---	---

(*) Valori validi anche per anime di profili scatolari

Tabella 12.11 – Flange di profili composti saldati – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa		
		Classe 1	Classe 2	
1		Deviazione Δ sulla lunghezza di misura 1 uguale alla larghezza della flangia b (ondulazione della flangia)	$\Delta = \pm \frac{b}{100}$	$\Delta = \pm \frac{b}{150}$
2		Deviazione Δ sulla lunghezza di misura 1 uguale alla larghezza della flangia b (ondulazione della flangia)	$\Delta = \pm \frac{b}{100}$	$\Delta = \pm \frac{b}{150}$
3		Deviazione Δ delle singole flange dalla rettilineità	$\Delta = \pm \frac{L}{750}$	$\Delta = \pm \frac{L}{1000}$

Tabella 12.12 - Profili scatolati saldati – tolleranze di fabbricazione funzionali

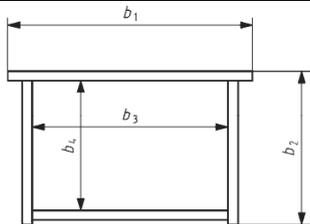
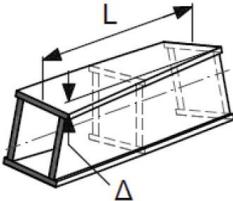
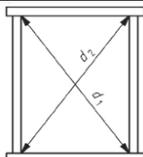
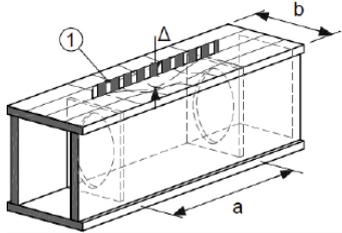
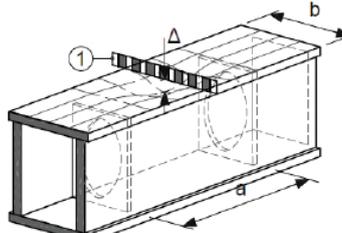
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Dimensioni interne od esterne: $b_i \leq 900$ mm: $900 < b_i \leq 1800$ mm: $b_i > 1800$ mm:</p>	$\Delta = \pm 3$ mm $\Delta = \pm b_i / 300$ $\Delta = \pm 6$ mm	$\Delta = \pm 2$ mm $\Delta = \pm b_i / 450$ $\Delta = \pm 4$ mm
2	 <p>Torsione: Deviazione globale Δ sulla lunghezza L</p>	$\Delta = \pm \frac{L}{700}$ $|\Delta| \geq 4$ mm $|\Delta| \leq 10$ mm	$\Delta = \pm \frac{L}{1000}$ $|\Delta| \geq 3$ mm $|\Delta| \leq 8$ mm
3	 <p>Differenza Δ tra le dimensioni delle diagonali nelle sezioni diaframmate: $\Delta = |d_1 - d_2|$</p>	$\Delta = \frac{|d_1 + d_2|}{400}$ $\Delta \geq 6$ mm	$\Delta = \frac{|d_1 + d_2|}{600}$ $\Delta \geq 4$ mm
4	 <p>Imperfezioni fuori dal piano dei piatti, tra anime o irrigidenti, caso generale: Distorsione Δ perpendicolare al piano del piatto</p>	$a \leq 2b$: $\Delta = \pm a / 250$ $a > 2b$: $\Delta = \pm b / 125$	$a \leq 2b$: $\Delta = \pm a / 250$ $a > 2b$: $\Delta = \pm b / 125$
5	 <p>Imperfezioni fuori dal piano dei piatti, tra anime o irrigidenti, caso speciale con compressione in direz. ortogonale: Distorsione Δ perpendicolare al piano del piatto</p>	$b \leq 2a$: $\Delta = \pm b / 250$ $b > 2a$: $\Delta = \pm a / 125$	$b \leq 2a$: $\Delta = \pm b / 250$ $b > 2a$: $\Delta = \pm a / 125$

Tabella 12.13 – Irrigidimenti d'anima di profili composti o scatolari saldati – tolleranze di fabbricazione funzionali

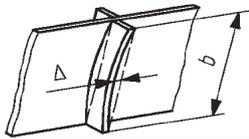
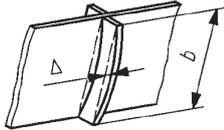
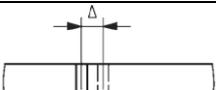
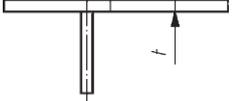
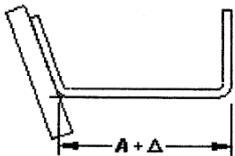
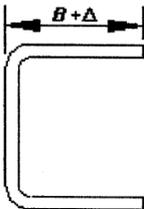
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 Deviazione Δ sulla rettilineità nel piano dell'anima	$\Delta = \pm \frac{b}{250}$ $|\Delta| = 4 \text{ mm}$	$\Delta = \pm \frac{b}{375}$ $|\Delta| = 2 \text{ mm}$
2	 Deviazione Δ dalla rettilineità in direzione ortogonale al piano dell'anima	$\Delta = \pm \frac{b}{500}$ ma $|\Delta| = 4 \text{ mm}$	$\Delta = \pm \frac{b}{750}$ ma $|\Delta| = 2 \text{ mm}$
3	 Distanza di un irrigidimento dell'anima dalla posizione teorica, posiz. generica	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$
4	 Distanza di un irrigidimento dell'anima dalla posizione teorica, agli appoggi	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$
5	 Eccentricità tra una coppia di irrigidimenti, posiz. qualsiasi	$\Delta = \pm \frac{t}{2}$	$\Delta = \pm \frac{t}{3}$
6	 Eccentricità tra una coppia di irrigidimenti, agli appoggi	$\Delta = \pm \frac{t}{3}$	$\Delta = \pm \frac{t}{4}$

Tabella 12.14 - Profili piegati a freddo – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 Larghezza A tra due piegature: $t < 3 \text{ mm}; L < 7 \text{ m}$: $t < 3 \text{ mm}; L \geq 7 \text{ m}$: $t \geq 3 \text{ mm}; L < 7 \text{ m}$: $t \geq 3 \text{ mm}; L \geq 7 \text{ m}$:	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = -3/+5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = -5/+9 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta = -2/+4 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = -3/+6 \text{ mm}$
2	 Larghezza B tra una piegatura ed un bordo libero - bordo laminato: $t < 3 \text{ mm}$: $t \geq 3 \text{ mm}$: - bordo tagliato: $t < 3 \text{ mm}$: $t \geq 3 \text{ mm}$:	$\Delta = -3/+6 \text{ mm}$ $\Delta = -5/+7 \text{ mm}$ $\Delta = -2/+5 \text{ mm}$ $\Delta = -3/+6 \text{ mm}$	$\Delta = -2/+4 \text{ mm}$ $\Delta = -3/+5 \text{ mm}$ $\Delta = -1/+3 \text{ mm}$ $\Delta = -2/+4 \text{ mm}$

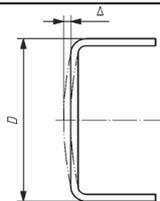
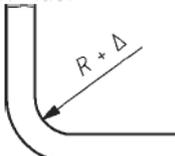
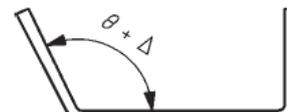
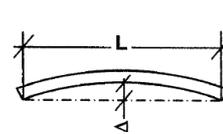
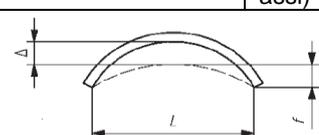
3		Convessità o concavità	$\Delta = \pm D/50$	$\Delta = \pm D/100$
4		Raggio interno di piegatura R	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$
5		Angolo θ tra componenti adiacenti	$\Delta = \pm 3^\circ$	$\Delta = \pm 2^\circ$

Tabella 12.15 – Componenti lavorati – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione		Tolleranza ammessa	
			Classe 1	Classe 2
1	Lunghezza dei profilati L caso generale	Lunghezza L misurata includendo lo spessore di eventuali piastre saldate alle estremità	$\Delta = \pm \left(\frac{L}{5000} + 2 \right) \text{ mm}$	$\Delta = \pm \left(\frac{L}{10000} + 2 \right) \text{ mm}$
2	Lunghezza dei profilati L superfici spianate a contatto		$\Delta \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta \pm 1 \text{ mm}$
3		(Deviazione dalla rettilineità di un profilato, laminato o saldato, entrambi gli assi)	$\Delta = \pm \frac{L}{750}$ $|\Delta| = 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm \frac{L}{750}$ $|\Delta| = 3 \text{ mm}$
4		Elementi curvi o calandrati	$\Delta = \pm \frac{L}{500}$ $|\Delta| = 6 \text{ mm}$	$\Delta = \pm \frac{L}{1000}$ $|\Delta| = 4 \text{ mm}$
5	Superficie finita per appoggio a contatto. Scostamento Δ max dalla sup. piana		$\Delta \pm 0,5 \text{ mm}$	$\Delta \pm 0,25 \text{ mm}$

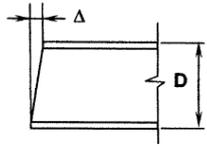
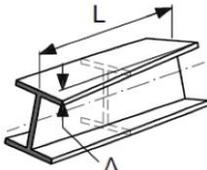
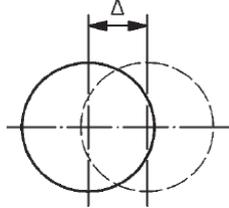
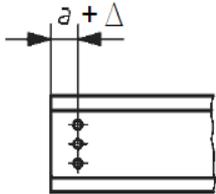
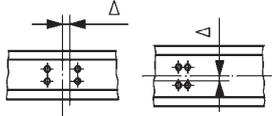
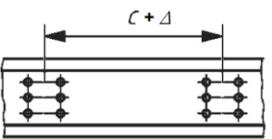
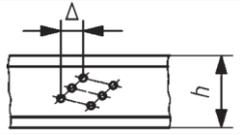
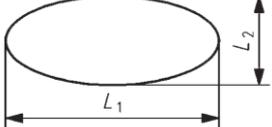
6		Ortogonalità sup. di estremità	sup. a contatto: $\Delta = \pm D / 1000$ sup. non a contatto: $\Delta = \pm D / 300$ Se l'elemento contiguo dista > 20 mm: $\Delta = \pm D / 100$	sup. a contatto: $\Delta = \pm D / 1000$ sup. non a contatto: $\Delta = \pm D / 300$ ma $|\Delta| \leq 10 \text{ mm}$
7		Torsione. Deviazione globale Δ sulla lun- ghezza L	$\Delta = \pm \frac{L}{700}$ $4 \text{ mm} \leq |\Delta| \leq 20 \text{ mm}$	$\Delta = \pm \frac{L}{1000}$ $3 \text{ mm} \leq |\Delta| \leq 15 \text{ mm}$

Tabella 12.16 – Forature, spallature, tagli – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 Scostamento Δ dell'asse di un singolo foro dalla posizione teorica all'interno di un gruppo di fori	$\Delta \pm 2 \text{ mm} (*)$	$\Delta \pm 1 \text{ mm}$
2	 Variazione Δ della distanza a di un foro da un bordo libero	$\Delta = - 0 \text{ mm}$ $\Delta = + 3 \text{ mm} (*)$	$\Delta = - 0 \text{ mm}$ $\Delta = + 2 \text{ mm} (*)$
3	 Scostamento Δ di un gruppo di fori dalla posizione teorica	$\Delta \pm 2 \text{ mm} (*)$	$\Delta \pm 1 \text{ mm}$
4	 Scostamento Δ della spaziatura c tra i baricentri di gruppi di fori	$\Delta = \pm 5 \text{ mm} (**)$ caso generale $\Delta = \pm 2 \text{ mm} (*)$ stesso elem. connesso ai 2 gruppi di bulloni	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$ caso generale $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$ stesso elem. connesso ai 2 gruppi di bulloni
5	 Rotazione di un gruppo di fori: $h \leq 1000 \text{ mm}$ $h > 1000 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 4 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$
6	 Ovalizzazione dei fori $\Delta = L_1 - L_2$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 0,5 \text{ mm}$

7		Spallature Scostamento Δ della misura in altezza d o in lunghezza L	- $\Delta = 0$ mm + $\Delta \leq 3$ mm	- $\Delta = 0$ mm + $\Delta \leq 2$ mm
8		Scostamento Δ dai 90° di un taglio di bordo	$\Delta = \pm 0,1t$	$\Delta = \pm 0,05t$
NOTE: (*) Valori da adottare se si usano i giochi foro-bullone della Tabella 9.6.1 (conforme a UNI EN 1090). Se si usano invece i valori delle NTC usare il valore: $\Delta = \pm 1$ mm ; (**) Valori da adottare se si usano i giochi foro-bullone della Tabella 9.6.1 (conforme a UNI EN 1090). Se si usano invece i valori delle NTC usare il valore: $\Delta = \pm 2$ mm .				

Tabella 12.17 – Giunti di colonne e piastre di base – tolleranze di fabbricazione funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 Disallineamento dell'asse delle colonne in un giunto	$e = \pm 5$ mm	$e = \pm 3$ mm
2	 disallineamento della colonna rispetto alla piastra di base	$e = \pm 5$ mm	$e = \pm 3$ mm

13. Montaggio

L'Appaltatore deve organizzare il proprio cantiere in modo da soddisfare i requisiti tecnici che garantiscono la sicurezza dei lavori, mostrando di aver esaminato e preso in considerazione almeno i seguenti punti, se pertinenti:

- impiego dei mezzi di sollevamento e loro manutenzione;
- viabilità interna e di accesso;
- condizioni del terreno influenzanti la sicurezza dei lavori;
- possibili cedimenti dei supporti di montaggio delle strutture;
- conoscenza dettagliata degli *underground*, dei cavi sospesi e degli eventuali ostacoli;
- limitazioni dimensionali e di peso dei componenti da spedire in cantiere;
- condizioni ambientali del sito;
- strutture adiacenti influenzanti il montaggio;
- procedure di cooperazione con altri Appaltatori agenti nel sito;
- disponibilità di utenze;
- carichi massimi di stoccaggio e di montaggio ammessi sulle strutture;

l) controllo del getto di calcestruzzo per strutture composte.

L'Appaltatore deve redigere per ogni opera un opportuno Metodo di Montaggio, tenendo in conto la tipologia del progetto quale appare dai documenti progettuali e le eventuali prescrizioni ivi contenute, affinché le attività di montaggio siano svolte in totale sicurezza ed al fine di raggiungere il livello di qualità stabilito per l'opera nei tempi stabiliti dal programma temporale.

Tali procedure devono essere consegnate al Direttore dei Lavori per approvazione, prima dell'inizio di ogni attività di montaggio. Il Direttore dei Lavori, prima di dare la propria approvazione, deve richiedere l'esame del Metodo di Montaggio da parte del Progettista ed ottenere la sua approvazione scritta, al fine di certificare che il metodo di montaggio previsto dall'Appaltatore non sia in contrasto con i requisiti e le ipotesi progettuali e non ne diminuisca il livello di sicurezza.

Le attività di montaggio di un'opera non possono iniziare prima che il relativo Metodo di Montaggio sia stato approvato dal Direttore dei Lavori.

Nel Metodo di Montaggio devono essere inclusi, se pertinenti, i seguenti punti:

- Posizione e tipologia delle connessioni delle strutture da effettuare in opera;
- Pesi e dimensioni massime degli elementi da montare;
- Sequenze di montaggio;
- Stabilità dell'opera in fase di montaggio. A tale scopo il Progettista deve rendere noto all'Appaltatore la posizione nella struttura di controventature temporanee, impalcati metallici o altri ritegni che sono necessari per garantire la stabilità di ogni singolo elemento o dell'intera struttura, se previsti a progetto;
- Condizioni per la rimozione delle controventature provvisorie di montaggio;
- Qualsiasi circostanza che possa causare rischi durante le fasi di montaggio;
- Metodi previsti per l'allineamento delle strutture e per l'inghisaggio delle stesse;
- Risultati da eventuali attività di premontaggio;
- Vincoli provvisori da imporre per assicurare la stabilità prima delle operazioni di saldatura in opera e per tenere sotto controllo eventuali deformazioni locali;
- Apparecchiature di sollevamento necessarie;
- Necessità di marcare pesi e baricentri per pezzi pesanti e/o irregolari;
- Relazione tra pesi da sollevare e raggio d'azione dei mezzi di sollevamento impiegati;
- Identificazione delle azioni di ribaltamento causate dal vento durante le fasi di montaggio, ed indicazione del metodo per contrastarle;
- Metodi per far fronte ai rischi per la sicurezza;
- Realizzazione di aree di lavoro sicure e di mezzi sicuri di accesso ad esse;
- Devono essere pianificate sequenze di fissaggio di lamiere grecate per solette composte acciaio-calcestruzzo tali da garantire che le lamiere siano adeguatamente supportate dalle travi prima del fissaggio, e che siano fissate alle strutture prima di essere impiegate come mezzo di accesso ad altre aree di lavoro;
- Le lamiere grecate non devono essere usate come mezzo di accesso per la saldatura di piolature, se non precedentemente fissate alle strutture;
- Sequenze di posa in opera e metodi per assicurare e sigillare cassetture, prima di impiegarle come mezzo di accesso per altre operazioni di costruzione.

L'Appaltatore deve predisporre disegni di montaggio che fanno parte integrante del Metodo di Montaggio. Essi devono contenere le seguenti informazioni:

- piante ed elevazioni in una scala tale che tutte le marche di montaggio dei singoli componenti siano visibili;
- assi delle strutture, la posizione degli appoggi e l'assemblaggio dei componenti insieme alle tolleranze di montaggio ammesse;
- le piante delle fondazioni devono mostrare l'orientamento delle basi delle colonne e di altre strutture in contatto diretto con le fondazioni, la quota delle fondazioni e la quota d'imposta delle strutture, il giusto livello di dettaglio per la posa in opera dei tirafondi, il metodo di supporto provvisorio previsto durante il montaggio e l'inghisaggio previsto;
- le eventuali opere provvisorie necessarie per il montaggio;
- i pesi dei componenti maggiori di 5 ton e la posizione dei baricentri dei componenti molto irregolari.

I componenti devono essere movimentati e accuratamente stoccati in modo da minimizzare il rischio di abrasioni o danni alle superfici.

Gli elementi per le connessioni e gli elementi metallici di piccole dimensioni devono essere immagazzinati in spazi chiusi e asciutti.

Ogni danno alla struttura metallica durante la fase di scarico, trasporto, stoccaggio o messa in opera deve essere riparato in modo tale da rispettare i limiti di lavorazione indicati in questo CT. Per le classi di esecuzione EXC2, EXC3 ed EXC4 deve essere preparata una procedura riguardo ai metodi di riparazione da adottare.

Le parti connesse dalle bullonature devono essere a stretto contatto. Qualora vi sia uno spazio tra gli elementi che possa compromettere l'integrità della connessione, esso deve essere colmato mediante l'inserimento di opportuni spessori. Se la mancanza di corrispondenza delle connessioni non può essere risolta con l'uso di spessoramenti, i pezzi devono essere modificati in modo opportuno, garantendo che le prestazioni strutturali non subiscano penalizzazioni in fase di montaggio e in fase di esercizio.

Se durante il montaggio si rileva un disallineamento dei fori, si può ricorrere all'alesaggio dei fori stessi purché il diametro finale dei fori rientri nei limiti stabiliti per la categoria dei "fori maggiorati" di cui alla tabella 9.6.1, e solo dopo avere richiesto ed ottenuto il parere favorevole del Progettista, di cui deve restare evidenza.

Per consentire un appropriato allineamento e livellamento della struttura sulle fondazioni, possono essere utilizzati spessori in acciaio, purché presentino superfici piane ed adeguata resistenza alla deformazione. Se essi vengono lasciati in opera durante l'inghisaggio, la malta deve ricoprirli totalmente per almeno 25 mm in ogni direzione.

Se la messa in bolla della base delle colonne avviene mediante dadi di livellamento posti sotto le piastre di base, questi possono essere lasciati in posizione a meno che non sia specificato diversamente. I dadi devono essere scelti in modo da assicurare che siano adatti a mantenere la stabilità della struttura senza mettere a repentaglio la prestazione dei bulloni di ancoraggio.

L'inghisaggio della base delle colonne non deve essere effettuato fin tanto che una sufficiente parte della struttura non sia stata allineata, messa a livello o a piombo e adeguatamente controventata.

Immediatamente prima del getto della malta di riempimento, lo spazio sotto la base delle colonne deve essere pulito e liberato da ogni elemento estraneo.

I materiali per l'inghisaggio possono essere malte di cemento Portland o malte premiscelate. Calcestruzzo con inerti di basso diametro può essere usato solo per spessori d'inghisaggio maggiori di 50 mm.

Il materiale d'inghisaggio deve essere posto in opera in modo da non lasciare vuoti o vespai. A tale scopo opportuni fori di sfianto devono essere predisposti nelle piastre di base.

I fori nelle piastre di base delle colonne per i tirafondi possono avere un diametro maggiorato in modo tale da consentire aggiustamenti. In tal caso è necessario l'uso di rondelle di grosso spessore da porre tra i dadi e la piastra di base.

L'Appaltatore deve progettare e prevedere i ritegni e le controventature provvisorie.

L'Appaltatore deve assicurare che nessuna parte della struttura venga permanentemente danneggiata dall'accumulo dei materiali o dai carichi dovuti alle fasi di montaggio degli elementi.

Il Committente deve assicurare che non siano applicati carichi sulla struttura parzialmente montata senza il permesso dell'Appaltatore.

Ogni parte della struttura deve essere allineata appena possibile, dopo che è stata messa in opera. Non devono essere realizzate connessioni permanenti fra i diversi componenti finché sufficienti parti della struttura non siano state allineate, messe a livello, a piombo e connesse temporaneamente per garantire che questi

componenti non subiscano spostamenti durante le successive fasi di montaggio o allineamento del resto della struttura.

14. Tolleranze di montaggio

Le tolleranze di montaggio definite “essenziali” di cui alla UNI EN 1090-2 §11.1 sono quelle il cui mancato rispetto può pregiudicare la stabilità e/o la resistenza delle strutture. Esse devono essere in ogni caso rispettate nel corso del montaggio. Per i componenti per i quali risultasse il mancato rispetto di una o più di tali limiti, dovrà essere informato il Direttore dei Lavori e dovrà essere emessa una azione di non conformità ed esaminate le opportune azioni correttive da intraprendere.

Le tolleranze di montaggio “funzionali” di cui alla UNI EN 1090-2 §11.1 sono quelle che attengono ai problemi di compatibilità con altri materiali, di estetica, di compatibilità con macchinari (es. carroporti) o apparecchiature, etc. Esse sono distinte in due classi, 1 e 2, con prescrizioni più restrittive passando dalla prima alla seconda. L'Appaltatore (se si è scelta la modalità di progettazione A) o il Progettista per conto del Committente (se si è scelta la modalità B o C) devono scegliere, per tali tolleranze, la classe più opportuna per le strutture, o per parti di esse, in funzione della tipologia delle strutture stesse e delle interfacce con altri elementi strutturali o non strutturali. La scelta del livello di tolleranze adottato va indicata al punto 2 – Oggetto.

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le principali tolleranze di montaggio, sia essenziali che funzionali, da rispettare.

Tabella 14.1 – Colonne di edifici monopiano– tolleranze di montaggio essenziali

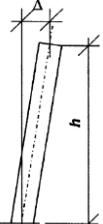
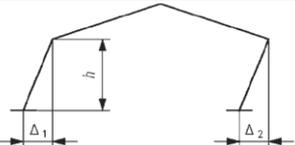
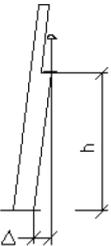
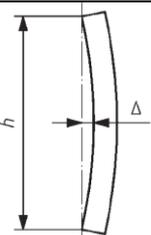
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Inclinazione globale sull'altezza h</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{300}$
2	 <p>Inclinazione media delle colonne dello stesso portale Per due colonne: $\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2$</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{500}$
3	 <p>Inclinazione dalla quota d'imposta al piano di appoggio della via di corsa del carroponete</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{1000}$
4	 <p>Rettilineità della colonna di un edificio monopiano</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{750}$

Tabella 14.2 – Colonne di edifici multipiano– tolleranze di montaggio essenziali

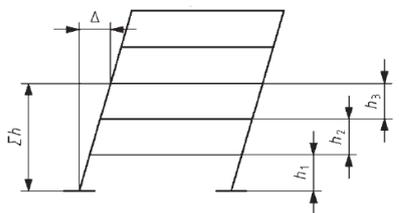
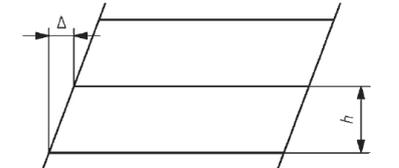
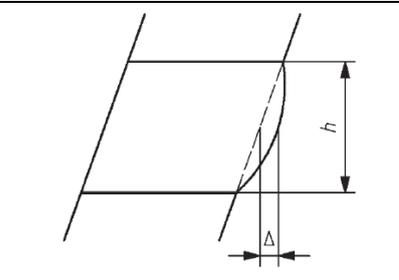
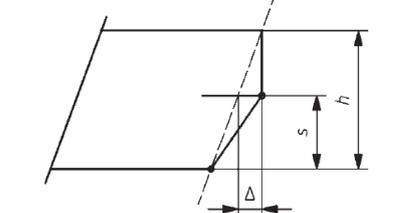
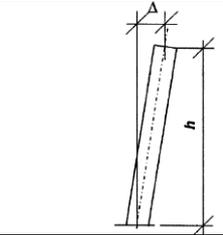
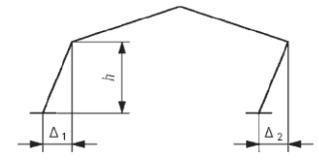
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1	 <p>Scostamento dalla verticale della posizione di una colonna di qualsiasi livello rispetto alla quota d'imposta</p>	$\Delta = \pm \frac{\sum_i h_i}{300 \cdot \sqrt{n}}$ <p>(n=numero piani)</p>
2	 <p>Scostamento dalla verticale della posizione di una colonna di qualsiasi livello rispetto alla sua posizione al piano inferiore</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{500}$
3	 <p>Scostamento dell'asse reale di una colonna rispetto alla retta congiungente le sezioni di estremità</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{750}$
4	 <p>Scostamento del giunto di una colonna rispetto alla retta congiungente le sezioni di estremità</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{750}$ $s \leq h/2$

Tabella 14.3 — Colonne di edifici monopiano - tolleranze di montaggio funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Inclinazione globale sull'altezza h</p>	$\Delta = \pm h / 600$ o 5 mm il maggiore dei 2, ma non più di 25 mm	$\Delta = \pm h / 1000$ o 5 mm il maggiore dei 2, ma non più di 25 mm
2	 <p>Inclinazione media delle colonne dello stesso portale Per due colonne: $\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2$</p>	$\Delta = \pm \frac{h}{600}$	$\Delta = \pm \frac{h}{1000}$

3		Inclinazione dalla quota d'imposta al piano di appoggio della via di corsa del carroponete	$\Delta = \pm h / 1000$ o 5 mm il maggiore dei 2, ma non più di 25 mm	$\Delta = \pm h / 1000$ o 5 mm il maggiore dei 2,23 ma non più di 15 mm
---	--	--	---	---

Tabella 14.4 — Colonne di edifici multipiano - tolleranze di montaggio funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa		
		Classe 1	Classe 2	
1		Scostamento dalla verticale della posizione di una colonna di qualsiasi livello rispetto alla quota d'imposta	$\Delta = \pm \frac{\sum_i h_i}{300 \cdot \sqrt{n}}$ (n =numero piani)	$\Delta = \pm \frac{\sum_i h_i}{500 \cdot \sqrt{n}}$ (n =numero piani)
2		Scostamento dalla verticale della posizione di una colonna di qualsiasi livello rispetto alla sua posizione al piano inferiore	$\Delta = \pm h/500$	$\Delta = \pm h/1000$
3		Scostamento dell'asse reale di una colonna rispetto alla retta congiungente le sezioni di estremità	$\Delta = \pm h/750$	$\Delta = \pm h/1000$
4		Scostamento del giunto di una colonna rispetto alla retta congiungente le sezioni di estremità	$\Delta = \pm h/750$ $s \leq h/2$	$\Delta = \pm h/1000$ $s \leq h/2$

Tabella 14.5 - Posizione dei tirafondi ed inserti - tolleranze di montaggio funzionali

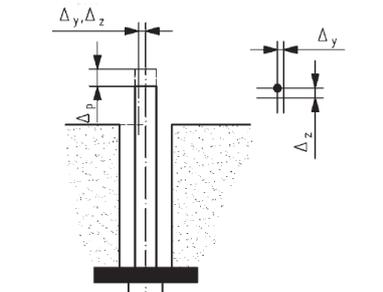
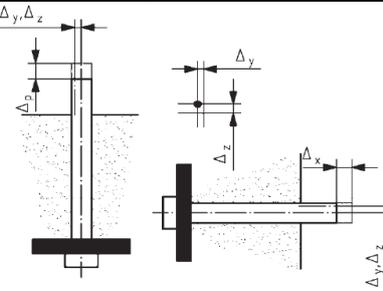
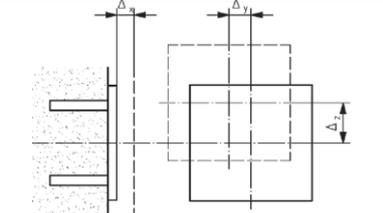
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa
1		<p>Tirafondi con possibilità di aggiustaggio</p> <p>$\Delta_y, \Delta_z = \pm 10 \text{ mm}$ $-5 \text{ mm} \leq \Delta_p \leq 25 \text{ mm}$</p>
2		<p>Tirafondi senza possibilità di aggiustaggio</p> <p>$\Delta_y, \Delta_z = \pm 3 \text{ mm}$ $-5 \text{ mm} \leq \Delta_p \leq 45 \text{ mm}$ $-5 \text{ mm} \leq \Delta_x \leq 45 \text{ mm}$</p>
3		<p>Piastra di ancoraggio annessa nel calcestruzzo</p> <p>$\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z = \pm 10 \text{ mm}$</p>

Tabella 14.6 — Posizione colonne - tolleranze di montaggio funzionali

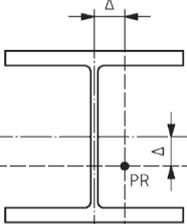
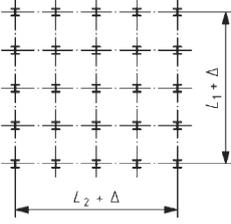
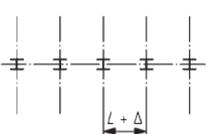
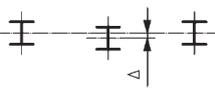
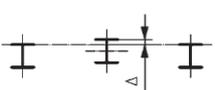
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Posizionamento dell'asse delle colonne rispetto al teorico</p>	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
2	 <p>Dimensione globale in pianta di un edificio: $L_i \leq 30 \text{ m}$ $30 \text{ m} < L_i < 250 \text{ m}$ $L_i \geq 250 \text{ m}$</p>	$\Delta = \pm 20 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,25(L_i+50) \text{ mm}$ $\Delta = 0,1(L_i+500) \text{ mm}$ (L_i in metri)	$\Delta = \pm 16 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L_i+50) \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,1(L_i+350) \text{ mm}$ (L_i in metri)
3	 <p>Distanza tra gli assi di colonne adiacenti: $L \leq 5 \text{ m}$ $L > 5 \text{ m}$</p>	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L+45) \text{ mm}$ (L in metri)	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,2(L+30) \text{ mm}$ (L in metri)
4	 <p>Posizione dell'asse delle colonne rispetto all'allineamento</p>	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$
5	 <p>Posizione del filo del muro perimetrale rispetto alla linea che congiunge gli estradossi delle colonne</p>	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 7 \text{ mm}$

Tabella 14.7 — Edifici - tolleranze di montaggio funzionali

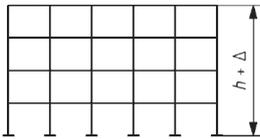
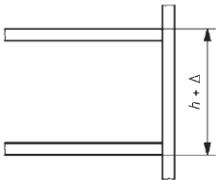
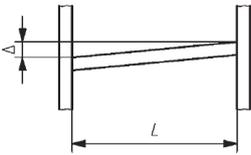
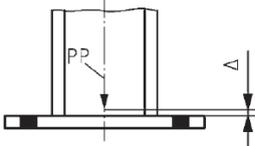
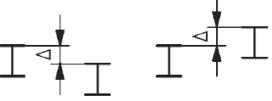
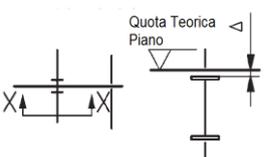
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Altezza globale rispetto q. d'imposta: $h \leq 20$ m $20 < h < 100$ m $1h \geq 100$ m</p>	$\Delta = \pm 20$ mm $\Delta = \pm 0,5(h+20)$ mm $\Delta = \pm 0,2(h+200)$ mm (h in metri)	$\Delta = \pm 10$ mm $\Delta = \pm 0,25(h+20)$ mm $\Delta = \pm 0,1(h+200)$ mm (h in metri)
2	 <p>Altezza tra livelli adiacenti</p>	$\Delta = \pm 10$ mm	$\Delta = \pm 5$ mm
3	 <p>Elevazione relativa all'altro estremo di una trave</p>	$\Delta = \pm L / 500$ ma $|\Delta| \leq 10$ mm	$\Delta = \pm L / 1000$ ma $|\Delta| \leq 5$ mm
4	 <p>Eccentricità non voluta e in un giunto di colonna</p>	$e = \pm 5$ mm	$e = \pm 3$ mm
5	 <p>Livello dell'estradosso della piastra di base, rispetto al teorico</p>	$\Delta = \pm 5$ mm	$\Delta = \pm 5$ mm
6	 <p>Elevazione di travi adiacenti</p>	$\Delta = \pm 10$ mm	$\Delta = \pm 5$ mm
7	 <p>Elevazione di una trave all'attacco nella colonna, rispetto al livello teorico di piano</p>	$\Delta = \pm 10$ mm	$\Delta = \pm 5$ mm

Tabella 14.8 — Travi di edifici - tolleranze di montaggio funzionali

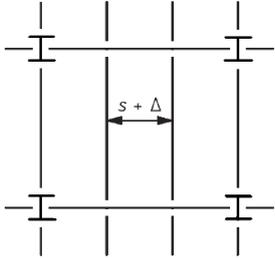
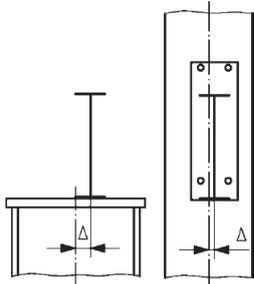
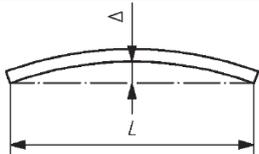
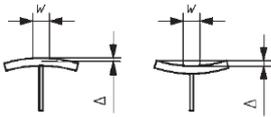
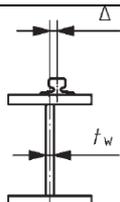
N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Scostamento Δ dalla distanza teorica s tra travi adiacenti</p>	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$
2	 <p>Scostamento Δ dall'asse teorico di una connessione trave-colonna, misurata relativamente alla colonna</p>	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$
3	 <p>Scostamento Δ dalla rettilineità di una trave o mensola di lunghezza L, in opera</p>	$\Delta = \pm L / 500$	$\Delta = \pm L / 1000$

Tabella 14.9 — Vie di corsa dei carroporti - tolleranze di costruzione e montaggio funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
1	 <p>Fuori piano dell'estradosso di una via di corsa su una larghezza w uguale alla larghezza della rotaia più 10 mm per parte</p>	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$
2	 <p>Eccentricità dell'asse della rotaia rispetto all'asse dell'anima: $t_w \leq 10 \text{ mm}$: $t_w > 10 \text{ mm}$:</p>	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,5 t_w$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 0,5 t_w$

3		Inclinazione della rotaia rispetto al piano orizzontale	$\Delta \leq \pm b / 333$	$\Delta \leq \pm b / 333$
4		Disallineamento verticale tra rotaie in prossimità del giunto	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 0,5 \text{ mm}$
5		Disallineamento orizzontale tra rotaie in prossimità del giunto	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 0,5 \text{ mm}$

Tabella 14.10 — Vie di corsa dei carroporti - tolleranze di montaggio funzionali

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa		
		Classe 1	Classe 2	
1	Posizionamento in piano rispetto all'asse teorico	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$	
2	 Rettilinearità in orizz. su 2 m	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
3	Quota della rotaia	Rispetto al livello teorico	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$
4		Sulla luce L di una via di corsa	$\Delta = \pm L / 1000$	$\Delta = \pm L / 1000$
5	 Quota della rotaia su 2 m	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	
6	 Differenza di livello tra le 2 rotaie con scartamento s	$\Delta = \pm s / 2000$ ma $\Delta \leq 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm s / 2000$ ma $\Delta \leq 10 \text{ mm}$	
7	 Variazione dello scartamento: $s \leq 15 \text{ m}$: $s > 15 \text{ m}$:	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = 3 + 0,25 \times (s - 15)$ mm (s in metri)	$\Delta = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta = 3 + 0,25 \times (s - 15)$ mm (s in metri)	

15. Trasporto

Tutto il materiale lavorato e le parti premontate devono essere adeguatamente conservati per proteggerli dalla corrosione e dai danneggiamenti accidentali.

Tutte le parti pronte per la spedizione devono essere sottoposte ad accurati controlli visivi e dimensionali.

I numeri di posizione ed i pesi devono comparire sulle bolle di consegna per la spedizione.

Durante il trasporto i materiali devono essere protetti con opportuni materiali al fine di prevenire danneggiamenti.

16. Stoccaggio

L'Appaltatore su richiesta del Committente deve dare la disponibilità di idonee aree di stoccaggio in officina per le strutture pronte per il trasporto, nell'eventualità di non disporre di aree libere per lo stoccaggio in cantiere, definendo preventivamente l'onere per l'occupazione delle aree di stoccaggio.

L'Appaltatore deve consegnare al Committente le opportune istruzioni operative per preservare i materiali staccati in cantiere da corrosione, deterioramento, danni accidentali, etc., prima di iniziare il montaggio.

17. Trattamenti protettivi

17.1 Generalità

I trattamenti protettivi superficiali saranno realizzati, di norma, con zincatura a caldo o mediante verniciatura, o infine con zincatura e successiva verniciatura (sistema duplex).

L'Appaltatore, in base alle indicazioni fornite dal Committente circa le condizioni ambientali dell'opera, la durata di essa prevista e la durata richiesta del periodo di tempo tra la costruzione e la prima manutenzione del trattamento protettivo, nonché in base alla eventuale preferenza espressa dal Committente per una modalità di protezione (zincatura o verniciatura), dovrà individuare un idoneo ciclo di protezione superficiale che soddisfi ai suddetti requisiti.

Nel caso di impiego di acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica secondo UNI EN 10025-5, dovrà essere valutato se le condizioni ambientali di impiego richiedono l'adozione di un trattamento protettivo superficiale.

La descrizione del ciclo di trattamento superficiale adottato con l'evidenza della sua rispondenza ai requisiti di cui sopra, nonché il piano di manutenzione ad esso associato, dovranno essere riportati in un apposito documento, da consegnare al Committente e al Direttore dei Lavori.

Le condizioni ambientali dell'opera devono essere caratterizzate mediante la classe di corrosività, che può essere determinata, in conformità alla UNI EN ISO 12944-2, con i criteri della tabella 17.1.1 (verniciatura), e in conformità alla UNI EN ISO 14713-1, con i criteri di tabella 17.1.2 (zincatura).

Tabella 17.1.1 – Classi di corrosività secondo UNI EN ISO 12944-2 (verniciatura)

Classi di corrosività	Perdita di massa per u. di superficie, perdita di spessore (dopo il primo anno di esposizione)				Esempi di ambienti tipici in un clima temperato (a scopo informativo)	
	Acciaio a basso tenore di carbonio		Zinco			
	Perdita di massa [g/m ²]	Perdita di spessore [μm]	Perdita di massa [g/m ²]	Perdita di spessore [μm]	All'esterno	All'interno
C1 molto bassa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edifici riscaldati con atmosfera pulita (negozi, uffici, scuole, alberghi)
C2 bassa	da 10 a 200	da 1,3 a 25	da 0,7 a 5	da 0,1 a 0,7	Ambienti con basso livello d'inquinamento. Soprattutto aree naturali.	Edifici non riscaldati dove può verificarsi condensa (depositi, locali sportivi)
C3 media	da 200 a 400	da 25 a 50	da 5 a 15	da 0,7 a 2,1	Ambienti urbani e industriali, modesto inquinamento da anidride solforosa. Zone costiere con bassa salinità.	Locali di produzione con alta umidità ed un certo inquinamento atmosferico (industrie alimentari, lavanderie, birrerie, caseifici)
C4 alta	da 400 a 650	da 50 a 80	da 15 a 30	da 2,1 a 4,2	Aree industriali e zone costiere con moderata salinità.	Impianti chimici, piscine, cantieri costieri per imbarcazioni.
C5-I molto alta (industriale)	da 650 a 1500	da 80 a 200	da 30 a 60	da 4,2 a 8,4	Aree industriali con alta umidità ed atmosfera aggressiva.	Edifici o aree con condensa quasi permanente e con alto inquinamento.
C5-M molto alta (marina)	da 650 a 1500	da 80 a 200	da 30 a 60	da 4,2 a 8,4	Zone costiere e offshore con alta salinità.	Edifici o aree con condensa quasi permanente e con alto inquinamento.

Tabella 17.1.2 – Classi di corrosività secondo UNI EN ISO 14713-1 (zincatura)

Classi di corrosività (*)	Esempi di ambiente tipico	
	All'interno	All'esterno
C1 (molto bassa) $r \leq 0,1 \mu\text{m}$	Ambienti riscaldati con umidità relativa bassa ed inquinamento trascurabile (uffici, scuole, musei)	Zone asciutte o fredde, ambiente atmosferico con inquinamento molto basso e periodi di umidità molto brevi (zone desertiche)
C2 (bassa) $0,1 < r \leq 0,7 \mu\text{m}$	Ambienti non riscaldati con temperatura e umidità relativa variabili. Bassa frequenza di condense e basso inquinamento (capannoni di stoccaggio, impianti sportivi)	Zone temperate con bassi valori d'inquinamento ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (zone rurali, paesi o piccole città dell'entroterra)
C3 (media) $0,7 < r \leq 2 \mu\text{m}$	Ambienti con moderata presenza di condense e di inquinamento da processi produttivi leggeri (impianti alimentari, lavanderie, impianti per la produzione di birra, caseifici)	Zone temperate con valori d'inquinamento medi (SO_2 tra 5 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oppure media presenza di cloruri) (aree urbane, aree costiere con bassa deposizione di cloruri)
C4 (alta) $2 < r \leq 4 \mu\text{m}$	Ambienti con condense frequenti ed alto livello d'inquinamento da processi industriali (impianti industriali, piscine)	Zone temperate con valori d'inquinamento alti (SO_2 tra 30 e 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alto livello di cloruri) (aree urbane molto inquinate, aree industriali, aree limitrofe alla costa con significativa deposizione di cloruri)
C5 (molto alta) $4 < r \leq 8 \mu\text{m}$	Ambienti con condense frequentissime e/o alto livello d'inquinamento da processi industriali (miniere, caverne per scopi industriali, capannoni non ventilati in zone subtropicali e tropicali)	Zone temperate e subtropicali con valori d'inquinamento molto alti (SO_2 tra 90 e 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, altissimo livello di cloruri) (aree con industrializzazione pesante, costruzioni lungo la costa)
CX (estrema) $8 < r \leq 25 \mu\text{m}$	Ambienti con condense quasi permanenti o lunghi periodi di esposizione agli effetti di umidità alta, e/o con alto inquinamento da processi produttivi (capannoni non ventilati in zone subtropicali e tropicali con penetrazione dall'esterno di agenti inquinanti)	Zone subtropicali e tropicali con valori d'inquinamento estremi ($\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, altissimo livello di cloruri) (aree con industrializzazione pesante, costruzioni lungo la costa e costruzioni <i>offshore</i>)
(*) Perdita di spessore di zinco r dopo il primo anno di esposizione.		

17.2 Zincatura a caldo

La protezione mediante zincatura a caldo dei materiali deve essere conforme alla norma UNI-EN ISO 1461:2009 e UNI EN ISO 14713:2010 parti 1 e 2.

Il Progettista deve sviluppare il progetto delle opere in modo da renderle compatibili con le esigenze del processo di zincatura a caldo.

L'Appaltatore deve fornire al Progettista le opportune informazioni relative al processo di zincatura (dimensioni delle vasche, etc.) affinché il Progettista possa fissare le dimensioni massime per gli elementi, sciolti o composti mediante saldatura, da zincare.

Ai fini della zincatura, di norma dovranno essere evitati elementi composti con saldatura che presentino marcate dissimmetrie sia nella geometria che nella disposizione ed estensione delle saldature, o che presentino

spessori troppo diversi negli elementi semplici che li compongono, con rapporto tra lo spessore maggiore e quello minore comunque non superiore a 5. Devono essere evitate ampie superfici piane, ricavate da lamiere di esiguo spessore, non opportunamente irrigidite.

Per gli elementi composti di notevole dimensione e peso, è opportuno che il Progettista predisponga gli opportuni punti di sollevamento da usare durante le operazioni di zincatura per sollevare l'elemento stesso.

Al fine di ottenere una zincatura più uniforme possibile, è sconsigliabile zincare elementi composti mediante saldatura formati da elementi sciolti con caratteristiche chimiche dell'acciaio sensibilmente diverse.

Le saldature di elementi strutturali da sottoporre a zincatura devono presentarsi prive di soffiature o porosità. Eventuali scorie vanno accuratamente rimosse prima della zincatura. E' vietato l'uso di vernici antispruzzo durante le operazioni di saldatura.

Sono di norma vietate lavorazioni di piegatura e formatura meccanica di pezzi zincati a caldo.

Se si eseguono operazioni di taglio e/o foratura di pezzi già zincati, occorre procedere al ripristino della zincatura lungo la superficie del taglio e/o foro.

Per gli elementi composti da elementi sciolti assemblati mediante saldatura, è opportuno prevedere coppie di fori di sfiato, di diametro non minore di 10 mm, posti principalmente nelle zone del manufatto ove sono più probabili gli accumuli del bagno di zincatura.

Le costolature di rinforzo di profili aperti ad U ed H devono essere opportunamente forate, o avere uno spigolo smussato, in modo da consentire il passaggio dello zinco ed evitare accumuli o formazione di bolle d'aria. Il diametro minimo dei fori deve essere orientativamente come da tabella 17.2.1.

Le piastre di base e/o di estremità di profili aperti devono essere opportunamente forate.

Il Progettista dovrà indicare la posizione e la dimensione delle forature nei disegni, in modo da non ridurre la resistenza degli elementi.

Tabella 17.2.1 – Dimensione orientativa fori di drenaggio per profili aperti

Dimensione caratteristica [mm]	Diametro minimo foro [mm]
< 25	10
25 – 50	12
50 – 100	16
100 – 150	20
> 150	25

Gli elementi tubolari devono essere muniti di adeguati fori, o intagli a V, di drenaggio per l'afflusso ed il deflusso dello zinco, posti il più possibile vicino possibile ai nodi di estremità degli elementi. L'area di tali forature non deve essere inferiore orientativamente al 25% della sezione del tubolare, e comunque il diametro non deve essere inferiore a 10 mm. Tutte le forature devono essere visibili ed ispezionabili. Le piastre di estremità devono essere forate. Il Progettista dovrà indicare la posizione e la dimensione delle forature nei disegni, in modo da non ridurre la resistenza degli elementi.

Le diaframature interne ai profili scatolati, se presenti, devono essere dotate di fori o di smussi ai quattro spigoli, per consentire il deflusso del bagno di zinco. L'estensione della superficie forata deve essere orientativamente calcolata come da tabella 17.2.2.

Tabella 17.2.2 – Dimensione orientativa forature elementi scatolari

Base + altezza della sezione trasversale [mm]	Area del foro [% area trasversale]
< 200	100%
200 – 400	40%
400 – 600	30%
> 600	25%

L'esecuzione dei fori o intagli di sfiato e drenaggio deve avvenire previa approvazione da parte del Progettista. Se si ravvisasse da parte dello Zincatore la necessità di nuove forature prima di procedere alle operazioni di zincaggio, deve essere chiesta l'approvazione preventiva dell'Appaltatore e, per suo tramite, del Progettista.

Nel caso di superfici a contatto, la saldatura deve essere continua su tutto il perimetro delle aree a contatto, per evitare il ristagno all'interno dei liquidi di decappaggio e flussaggio usati durante il processo di zincatura. E' comunque consigliabile praticare un foro di sfiato di diametro non minore di 10 mm.

Per quanto qui non espressamente specificato, al fine di progettare gli elementi strutturali in modo compatibile con le esigenze della zincatura, si dovranno seguire le indicazioni riportate nell'Appendice A della norma UNI EN ISO 14713 parte 2.

L'Appaltatore deve esaminare il progetto al fine di determinare se esso possiede i requisiti necessari per una corretta applicazione della protezione mediante zincatura. Se l'Appaltatore ritiene che debbano essere apportate delle modifiche ad alcuni dettagli costruttivi per raggiungere tale scopo, deve svilupparli e sottoporli all'approvazione del Progettista.

L'Appaltatore deve curare che l'assemblaggio degli elementi da zincare avvenga senza apprezzabili forzature.

Se sono previste superfici/zone da non zincare in un elemento da sottoporre a zincatura, l'Appaltatore deve provvedere con idoneo mezzo a proteggere tali superfici/zone.

Le superfici degli elementi da zincare devono risultare perfettamente pulite, esenti da ossidi, grassi ed altri contaminanti. Essi non devono presentare macchie di vernici non idrosolubili o etichette autoadesive.

Il materiale zincato può essere sottoposto a trattamento di passivazione chimica in zincheria, se ritenuto necessario per incrementare la già notevole resistenza alla corrosione. Alcuni prodotti passivanti possono anche migliorare l'aderenza di successive applicazioni di vernici sul materiale zincato. Se si richiede la passivazione occorre, come richiesto dalla norma ISO 1461, avvertire lo zincatore se si vuole successivamente applicare una vernice.

Lo spessore minimo del rivestimento di zinco deve essere in conformità a quanto riportato in tabella 17.2.3. L'Appaltatore, in base alle indicazioni fornite dal Committente circa le condizioni ambientali dell'opera, la sua durata prevista e la durata richiesta del periodo di tempo tra la costruzione e la prima manutenzione del trattamento protettivo, può fissare in accordo con la Zincheria spessori maggiori, con riferimento alle indicazioni della UNI EN ISO 14713-1. Di tali scelte dovrà essere data evidenza, come detto al §17.1. Di norma sono da evitare spessori di zincatura maggiori di 250-300 µm, per evitare il rischio di distacco parziale del rivestimento in seguito ad urti accidentali. Una indicazione delle durate in anni in rapporto agli spessori della zincatura ed alle classi di corrosività la si trova in tabella 17.2.4.

Tabella 17.2.3 – Spessori minimi di zinco

Spessore acciaio [mm]	Spessore rivestimento [µm]
< 1,5	45
1,5 – 3	55
3 – 6	70
> 6	85

Tabella 17.2.4 – Durata indicativa sino alla prima manutenzione della zincatura in funzione delle classi di corrosività (da UNI EN ISO 14713-1)

Componente	Norma	spessore min. [µm]	Classe di corrosività e classe di durabilità (VL, L, M, H e VH) (*)							
			C3		C4		C5		CX	
Profilati e lamiere zincati a caldo	UNI EN ISO 1461	85	40/>100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67/>100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95/>100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H
Nastri e lamiere di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo per formatura a freddo	UNI EN 10346	20	10/29	H	5/10	M	2/5	L	1/2	VL
		42	20/60	VH	10/20	H	5/10	M	2/5	L
Profili tubolari zincati a caldo	UNI EN 10240	55	26/79	VH	13/26	H	7/13	H	2/7	L

(*) VL=molto bassa, L=bassa, M=media, H=alta, VH=molto alta

I pezzi zincati devono essere ispezionati per individuare eventuali difetti della zincatura che devono essere opportunamente eliminati. L'estensione massima delle zone che presentano difetti non può superare i limiti indicati dalla norma UNI EN ISO 1461. In particolare le aree non rivestite da zincatura non devono superare lo 0,5% della superficie dell'elemento, ed ogni area non rivestita da riparare non deve essere maggiore di 10 cm². Le riparazioni devono essere effettuate impiegando zincanti inorganici o con matrici organiche a pennello o spruzzo, spray a base di polvere di zinco o metallizzazione termica secondo UNI EN ISO 2063:2005. Lo spessore del rivestimento delle zone riparate deve essere di almeno 100 µm. Se vengono superati i valori di difettosità stabilito dalla norma succitata, l'elemento deve essere sottoposto di nuovo al procedimento di zincatura.

Per lo stoccaggio degli elementi zincati in attesa di trasporto e/o montaggio devono essere prese le opportune precauzioni per evitare la formazione di "ruggine bianca". In particolare lo stoccaggio dovrà avvenire in luogo asciutto, inserendo distanziali tra gli strati di materiale per favorire la circolazione d'aria, ed evitando di ricoprire le cataste con teli di materiale plastico che potrebbero causare condensa di vapore acqueo. Se si impiegano profilati pre-zincati da sottoporre a successive lavorazioni quali taglio, piegatura, serraggio, saldatura, etc., cura deve essere posta nel non danneggiare la zincatura. In caso di danneggiamento, il ripri-

stino della zincatura va effettuato preferibilmente mediante metallizzazione termica o, in alternativa, mediante l'applicazione di idonee vernici che contengano almeno il 90% di zinco nel pigmento e realizzando rivestimenti di spessore non superiore a 100 micron.

Di norma si deve evitare la saldatura per elementi pre-zincati. Ove fosse necessario, si devono qualificare delle opportune procedure di saldatura per tale scopo. Al termine della saldatura, la zincatura dovrà essere ripristinata mediante vernici con almeno il 90% di zinco nel pigmento, riporto di zinco o metallizzazione a spruzzo.

I bulloni di classe 10.9 non devono essere zincati a caldo.

Per i bulloni di classe inferiore è ammessa la zincatura a caldo, preferibilmente seguita dalla centrifugazione, in accordo alla UNI EN ISO 10684:2005. I dadi devono essere filettati dopo la zincatura.

L'accettazione della zincatura di un manufatto prevede la valutazione dell'aspetto del prodotto rivestito e la valutazione dello spessore secondo UNI EN ISO 1461.

17.3 Verniciatura

17.3.1 Generalità

I trattamenti protettivi devono essere conformi alle prescrizioni della norma UNI UN ISO 12944 nelle sue varie parti.

Si sceglieranno di norma trattamenti con durabilità media, secondo UNI UN ISO 12944-1 (da 5 a 15 anni di durata teorica).

A titolo indicativo, per durabilità media e per le classi di corrosione sino alla C4, possono essere usati i cicli di pitturazione di cui al §17.3.3 relativi a:

- superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C3 (urbano e industriale con modesto inquinamento) (ciclo 1);
- superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C4 (industriale particolarmente aggressivo, marino) (ciclo 2);
- superfici ferrose zincate a caldo (ciclo 3);
- protezione al fuoco per strutture metalliche (ciclo 4).

Le relative preparazioni delle superfici sono descritte al §17.3.3.

La scelta dei cicli di cui al §17.3.4 riveste un carattere generale. Eventuali condizioni particolari richiedono una più specifica valutazione al fine della individuazione del ciclo più adatto all'opera in oggetto.

17.3.2 Scelta dei dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi adottati devono essere tali da rendere più affidabile e durevole la applicazione del ciclo di pitturazione. A tal proposito si può fare riferimento alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 12944-3.

Si raccomanda di limitare il più possibile le irregolarità: sovrapposizioni, angoli, spigoli. Si raccomanda di effettuare saldature a tratti solo dove il rischio di corrosione è trascurabile, di progettare garantendo l'accesso facile all'elemento strutturale per l'applicazione, il controllo e la manutenzione della verniciatura. Si raccomanda di dimensionare le aperture nelle strutture scatolate in modo da consentire il passaggio sicuro dell'operatore con le sue attrezzature. Si raccomanda di evitare di impiegare elementi con superfici troppo ravvicinate entro le quali risulterebbe difficile applicare la pitturazione, attenendosi alle indicazioni di figura 17.3.2.1.

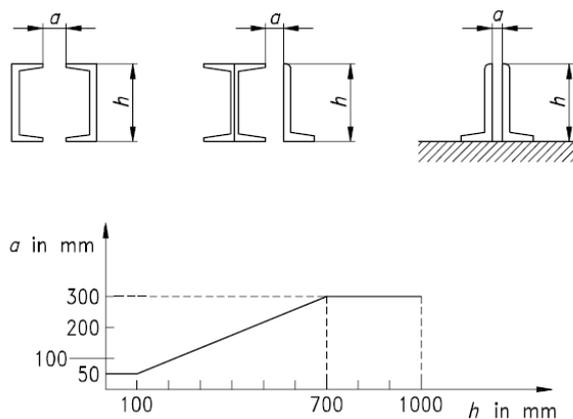


Figura 17.3.2.1 – Distanza minima fra le sezioni secondo UNI EN ISO 12944-3

Si devono evitare quelle configurazioni che consentono il ristagno dell'acqua o della polvere, che col tempo deteriorerebbero la superficie aumentando così il rischio di corrosione (figura 17.3.2.2).

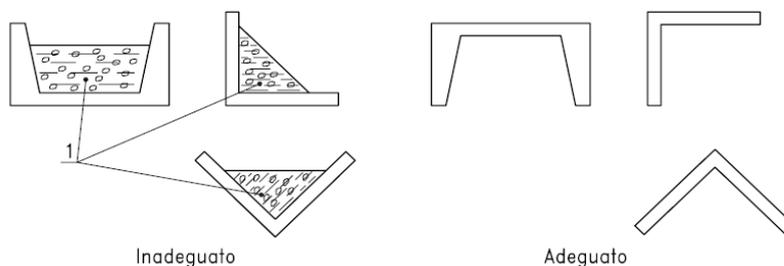
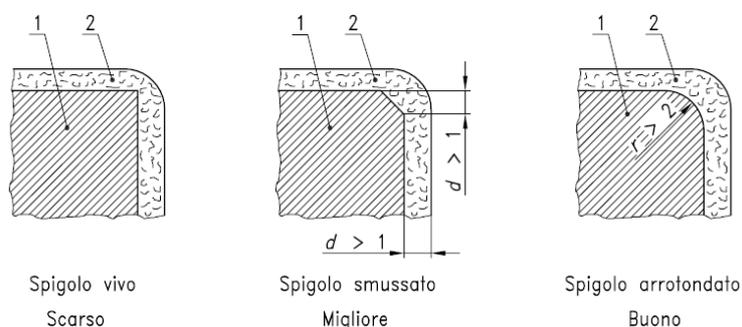


Figura 17.3.2.2 – Disposizioni per evitare il ristagno di polveri o acqua secondo UNI EN ISO 12944-3

Si raccomandano poi spigoli arrotondati, per poter applicare il rivestimento protettivo in modo uniforme, ed avere uno spessore adeguato sugli spigoli vivi che sono esposti a danneggiamenti e che, ove possibile, sarebbe opportuno smussare (figura 17.3.2.3).

Le parti scatolate aperte devono essere dotate di fori di drenaggio, quelle chiuse devono essere sigillate con saldature in modo da renderle impermeabili.



17.3.3 Preparazione dell'acciaio

La preparazione degli elementi in acciaio da verniciare, volta a rimuovere i difetti superficiali delle varie aree (saldature, fori, bordi, superfici, etc.) degli elementi strutturali, deve avvenire scegliendo l'opportuno *preparation grade* di cui alla norma UNI EN ISO 8501-3, in funzione della vita attesa per il ciclo di protezione e della categoria di corrosività, come prescritto in tabella 17.3.3.1.

Tabella 17.3.3.1 – Preparation grade (secondo UNI EN 1090-2)

Vita attesa per il ciclo di protezione	Categoria di corrosività	Preparation grade
> 15 anni	C1	P1
	da C2 a C3	P2
	superiore a C3	P2 (o P3 se richiesto)
da 5 a 15 anni	da C1 a C3	P1
	superiore a C3	P2
< 5 anni	da C1 a C4	P1
	C5 - Im	P2

17.3.4 Preparazione delle superfici

La preparazione delle superfici da verniciare, al fine di rimuovere ruggine ed ogni impurità e di raggiungere l'adeguata rugosità, deve essere in accordo alla EN ISO 12944-4 e EN ISO 8501. Vanno eseguiti test durante le operazioni di sabbiatura per verificare il raggiungimento del grado di rugosità richiesto. Le misure della rugosità devono essere eseguite in accordo alla EN ISO 8503-1 e EN ISO 8503-2. La norma EN ISO 8501-1 fornisce degli esempi fotografici del grado di finitura delle superfici da raggiungere.

Prima della preparazione mediante spazzolatura o sabbiatura, la superficie degli elementi da trattare deve essere sgrassata e liberata dai residui di saldatura.

Spazzolatura

Tale preparazione deve essere eseguita su superfici grezze non pitturate nelle condizioni B, C, D della norma ISO 8501-1.

Le operazioni di pulizia devono essere eseguite con l'impiego di spazzole di fibra rigida adatta al supporto e/o di attrezzi ad impatto, e/o di mole meccaniche, azionati a motore. Al termine delle operazioni, l'aspetto delle superfici deve corrispondere al rispettivo grado St3 della norma ISO 8501-1.

Sabbiatura commerciale

Tale preparazione deve essere eseguita su superfici grezze non pitturate nelle condizioni iniziali B, C, D della norma ISO 8501-1. Al termine delle operazioni l'aspetto della superficie deve corrispondere, a seconda della condizione iniziale B, C, D al rispettivo grado Sa2 delle norme ISO 8501-1.

Il profilo di ancoraggio dovrà essere all'interno dei valori previsti dal tipo di *primer* impiegato e comunque di tipo medium, tra 30 e 45 µm, secondo ISO 8503.

Sabbiatura a metallo quasi bianco

Tale preparazione deve essere eseguita su superfici grezze non pitturate nella condizione iniziale A, B, C, D della norma ISO 8501-1. Al termine delle operazioni l'aspetto della superficie deve corrispondere, a seconda della condizione iniziale (A, B, C, D) al rispettivo grado Sa2½ della norma ISO 8501-1.

Il profilo di ancoraggio dovrà essere all'interno dei valori previsti dal tipo di *primer* impiegato e comunque di tipo medium, tra 40 e 60 µm, secondo ISO 8503.

Spazzolatura meccanica

Tale preparazione deve essere eseguita in opera su strutture già pitturate che presentino grado di arrugginimento Ri 1÷4 della norma EN ISO 4628-3, danneggiamenti al film dovuti, per esempio, ad abrasioni, saldature, od altre cause imputabili alle operazioni di montaggio e/o piccole zone rimaste grezze. Le operazioni da eseguire consistono:

- nell'accurata raschiatura, prevedendo eventuale picchiettatura, fino alla completa eliminazione di tutta la pittura danneggiata e/o in fase di distacco e la successiva spazzolatura al grado St3 della norma ISO 8501-1 per eliminare la ruggine;

- nell'accurata raschiatura e spazzolatura al grado St3 della norma ISO 8501-1, delle superfici grezze; nello sgrassaggio e nell'accurata spolveratura e pulizia di tutta la superficie, con rimozione delle sostanze solubili in acqua, quali sali, salsedine, depositi incoerenti non aderenti, come polveri, fanghi, ecc.

17.3.5 Cicli di pitturazione

I cicli di pitturazione devono essere sviluppati in accordo alla norma EN ISO 12944-5 e devono essere individuati per il caso specifico.

In assenza di uno studio specifico, si potranno adottare i sotto indicati cicli di pitturazione in relazione alle classi di corrosività del sito di realizzazione dell'opera.

Ciclo 1 - (ambiente classificato C3: urbano e industriale con modesto inquinamento)

Denominazione:	Poliuretano alifatico.
Campo di applicazione:	Per superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C3 secondo UNI ISO 12944-5. (Ad esempio: ambienti urbani ed industriali con modesto inquinamento da anidride solforosa; zone costiere con bassa salinità; locali di produzione con alta umidità, quali industrie alimentari, lavanderie, birrerie e caseifici).
Preparaz. delle superfici:	Sabbatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	Zincante epossidico organico, sp. 60 micron.
2a mano - intermedio (1):	Epossipoliammidica, sp. 50 micron.
3a mano - finitura (1):	Poliuretano - alifatico, sp. 50 micron.

Ciclo 2 - (ambiente classificato C4: industriale particolarmente aggressivo, marino)

BASE

Denominazione:	Poliuretano alifatico.
Campo di applicazione:	Per superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C4 secondo UNI ISO 12944-5. (Ad esempio: ambienti industriali; zone costiere con moderata salinità; impianti chimici (all'interno), piscine, cantieri costieri per imbarcazioni).
Preparaz. delle superfici:	Sabbatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	Zincante epossidico organico, sp. 75 micron.
2a mano - intermedio (1):	Epossipoliammidica, sp. 120 micron.
3a mano - finitura (1):	Poliuretano - alifatico, sp. 60 micron.

VARIANTE 1

Denominazione:	Acrilico alifatico.
Preparaz. delle superfici:	Sabbatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	Zincante epossidico organico, sp. 75 micron.
2a mano - finitura:	Smalto acrilico alifatico a due componenti (idoneo per applicazioni su zincato a freddo), sp. 60 micron.

VARIANTE 2

Denominazione:	Clorocaucciù alchidico.
Preparaz. delle superfici:	Sabbatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	Zincante epossidico organico, sp. 75 micron.
2a mano - intermedio:	Clorocaucciù puro monocomponente, sp. 35 micron.
3a mano - finitura :	Smalto alchidico clorocaucciù , sp. 35 micron.

Note:

Gli spessori sopra indicati sono da intendersi come "spessori minimi a film secco".

(1) Da applicare in opera. Per i tempi di sopravverniciabilità della mano intermedia attenersi alla scheda tecnica del produttore.

Ciclo 3

BASE

Denominazione:	Poliuretano alifatico modificato.
Campo di applicazione:	Per leghe leggere e superfici ferrose zincate a caldo.
Preparaz. delle superfici:	Sgrassaggio con solventi non clorurati. In alternativa alla sgrassaggio effettuare una sabbiatura Sa1: utilizzare sabbia molto fine, normalmente quello di recupero. Non utilizzare graniglia metallica.
1a mano - <i>primer</i> :	Epossipoliammidico, sp. 50 micron.
2a mano - finitura:	Poliuretano - alifatico, sp. 40 micron.

VARIANTE 1

Denominazione:	Acrilico alifatico modificato.
Preparaz. delle superfici:	Sgrassaggio con solventi non clorurati. In alternativa alla sgrassaggio effettuare una sabbiatura Sa1: utilizzare sabbia molto fine, normalmente quello di recupero. Non utilizzare graniglia metallica.
mano unica:	Smalto acrilico alifatico a due componenti, idoneo (*) per applicazione anche su materiali non ferrosi quali lamiera zincata a caldo ed alluminio, sp. 70 micron.

(*) Deve essere verificata questa idoneità, poiché non tutte le resine acriliche danno aggrappaggio su lamiere zincate a caldo e alluminio, rischiando uno sfogliamento della pellicola nel tempo.

Note:

Gli spessori sopra indicati sono da intendersi come "spessori minimi a film secco".

Ciclo 4

Denominazione:	Ciclo resistente al fuoco con vernici intumescenti ed ignifughe.
Campo di applicazione:	Per la protezione dal fuoco di strutture metalliche.
Preparaz. delle superfici:	Sabbiatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	Zincante inorganico a solvente, sp. 75 micron.
2a mano - <i>tie-coat</i> :	Epossidico, sp. 35 micron.
3a mano:	Vernice intumescente, sp. (vedi nota 2).
4a mano - finitura:	Usare vernici consigliate dal produttore della vernice intumescente.

VARIANTE 1

Preparaz. delle superfici:	Sabbiatura a metallo quasi bianco Sa2-1/2.
1a mano - <i>primer</i> :	<i>Primer</i> epossidico a due componenti, sp. 75 micron.
2a mano:	Non necessaria.
3a mano:	Vernice intumescente, sp. (vedi nota 2).
4a mano - finitura:	Smalto cloroaucciù puro monocomponente, sp. 40 micron.

VARIANTE 2

Preparaz. delle superfici:	Sabbiatura grado Sa2.
1a mano - <i>primer</i> :	<i>Primer</i> epossidico a due componenti, tipo <i>Surface Tolerant</i> , sp.75 micron.
2a mano:	Non necessaria.
3a mano:	Vernice intumescente, sp. (vedi nota 2).
4a mano - finitura:	Smalto cloroaucciù puro monocomponente, sp. 40 micron.

Note:

1 - Gli spessori sopra indicati sono da intendersi come "spessori minimi a film secco".

2 - Lo spessore della vernice intumescente dovrà essere definito in funzione del tipo e delle dimensioni di ogni singolo profilo (fattore di massività), della sollecitazione specifica e della resistenza al fuoco *R* richiesta, in base ai dati comunicati dal Progettista.

3 - Nel caso di strutture zincate a caldo, prima dell'applicazione della vernice intumescente, le superfici da proteggere dovranno essere sgrassate con solventi non clorurati e verniciate applicando la 2a, la 3a e la 4a mano del ciclo sopra indicato.

17.3.6 Controlli ed accettabilità dei cicli di pitturazione

La pitturazione deve essere eseguita in accordo alla norma EN ISO 12944-7.

Il grado di pulizia prescritto per le superfici da verniciare va controllato secondo EN ISO 8501, ed il grado di rugosità prescritto, secondo EN ISO 8503-2.

Il controllo dello spessore di ogni strato (film secco) va eseguito secondo ISO 19840.

Va eseguita una ispezione viva per controllare che la verniciatura risponda alle caratteristiche prescritte, secondo la UNI EN ISO 12944-7. La eventuale individuazione di aree di riferimento per il controllo della verniciatura secondo la norma citata va fatto solo per le classi di corrosione da C3 a C5.

18. Gestione della qualità

18.1 Documentazione relativa alla qualità

L'Appaltatore deve mantenere e predisporre un sistema di gestione della qualità per assicurare che le procedure di progetto, di realizzazione dei dettagli costruttivi, di acquisto, di fabbricazione, di messa in opera e di predisposizione dei trattamenti protettivi per i componenti strutturali e per l'intera struttura, possano dar luogo ad un prodotto conforme ai requisiti di questo CT e della UNI EN 1090-2 in funzione della classe di esecuzione scelta.

L'Appaltatore deve predisporre e mantenere, per le strutture in classe di esecuzione EXC2-3-4, tutta la documentazione d'obbligo richiamata al §11.3 delle NTC, e comunque la seguente documentazione:

- Organigramma della società con individuazione dei ruoli di responsabilità relativi alle attività di produzione;
- Procedure ed istruzioni operative da applicare nelle lavorazioni (WPS-Welding Procedure Specifications, Procedura d'Ispezione per mezzo di Liquidi Penetranti, Procedura di Controllo delle Unioni Bullonate, Procedura per il Ripristino delle Verniciature, etc.);
- Piano specifico di controlli sulle lavorazioni (Piano di Controllo della Qualità, Piano della Saldatura, Welding Book);
- Documentazione per garantire la rintracciabilità (Ove richiesta);
- Documentazione di Controllo produzione in fabbrica (FPC);
- Dichiarazione di prestazione (DOP) e marcatura CE delle componenti;
- Procedura per la gestione delle modifiche in corso d'opera;
- Procedura per la gestione delle non conformità.

18.2 Piano della qualità

L'Appaltatore deve predisporre e mantenere un adeguato Piano della Qualità per l'esecuzione delle sue attività. Esso deve contenere informazioni riguardo:

- Organigramma della società con individuazione dei ruoli di responsabilità relativi alle attività di produzione;
- Organizzazione della attività di controllo della produzione, con individuazione dei controlli da eseguire, individuazione delle responsabilità per le varie attività, e modalità di archiviazione e di consultazione dei risultati dei controlli;
- Individuazione della documentazione disponibile relativa alla qualità di cui al §18.1.

19. Norme di misurazione

19.1 Oneri compresi nei prezzi

Con i singoli prezzi pattuiti con il Committente, si intendono compensati anche gli oneri derivanti all'Appaltatore dall'operare in ottemperanza alle specifiche prescrizioni tecniche stabilite nel presente CT, e gli oneri particolari precisati nel seguito, ove esistenti, con le sole esclusioni esplicitamente indicate; tali precisazioni si intendono esplicative e non limitative. Pertanto, anche se non espressamente indicato, nelle varie cate-

rie di lavoro si intende compreso anche tutto quanto necessario per realizzare in modo finito e completo quanto è oggetto dell'Appalto. Ove non diversamente indicato, i prezzi si intendono per lavorazioni eseguite a qualsiasi quota. Gli oneri derivanti dalla progettazione affidata all'Appaltatore, quelli derivanti dall'applicazione del Sistema di Qualità, quelli derivanti dall'esecuzione dei controlli durante le fasi di montaggio e la documentazione certificativa di avvenuta controllo, sono a cura e spese dell'Appaltatore e s'intendono compresi nei prezzi definiti in fase d'ordine.

19.2 Bulloni d'ancoraggio

Sono compresi i sotto riportati elementi complementari:

- le parti accessorie dei bulloni risultanti dal progetto;
- le maschere di montaggio;
- le carpenterie metalliche, le armature aggiuntive per il posizionamento e supporto dei bulloni e delle maschere di montaggio.

La contabilizzazione verrà effettuata applicando i prezzi unitari definiti alla somma teorica dei pesi reali dei bulloni e degli elementi complementari sopra definiti, risultanti dai computi metrici derivati dai disegni costruttivi d'officina.

19.3 Strutture in acciaio

Le strutture in acciaio, ai fini della contabilizzazione, possono essere suddivise nelle categorie di seguito elencate:

- carpenterie normali, comprendenti tutti gli elementi strutturali sia principali che secondari;
- carpenterie complementari, comprendenti:
 - scale a rampe e/o pioli complete di gabbia di protezione;
 - ringhiere e parapetti completi di parapiede;
 - profilati di protezione;
 - inserti di carpenteria da inserire in strutture in c.a.;
 - simulacri d'ingombro;
 - dime e manicotti;
 - rete elettrosaldata per getto solai;
- carpenterie aggiuntive, comprendenti elementi di rinforzo per strutture esistenti, e/o elementi strutturali da porre in opera in strutture esistenti (se il montaggio è compreso nella fornitura).

La contabilizzazione verrà effettuata applicando i prezzi unitari definiti ai pesi teorici risultanti dai computi metrici ricavati dai disegni costruttivi, sulla base del peso specifico di 7,85 t/m³. Nelle valutazioni di peso restano escluse le incidenze delle tolleranze di laminazione e dei materiali di saldatura, oneri che devono essere preventivamente incorporati nei prezzi unitari di contabilizzazione delle carpenterie. E' compreso invece il peso delle bullonature.

19.4 Lamiere grecate, lamiere striate o bugnate

Sono compresi i sotto riportati elementi complementari:

- i materiali di montaggio;
- i connettori di ancoraggio;
- le bordature, i piatti di rinforzo e gli elementi di raccordo.

La contabilizzazione verrà effettuata applicando i prezzi unitari definiti ai pesi teorici risultanti dai computi metrici ricavati dai disegni costruttivi. Nelle valutazioni di peso restano escluse le incidenze relative agli elementi complementari, oneri che devono essere preventivamente incorporati nel prezzo unitario di contabilizzazione.

19.5 Grigliati

Sono compresi i sotto riportati elementi complementari:

- le staffe di fissaggio;
- la bulloneria.

La contabilizzazione verrà effettuata applicando il prezzo unitario definito riferito alla quantità e/o al peso dei pannelli, determinato per via analitica, escludendo gli elementi complementari, la cui incidenza deve essere preventivamente incorporata nel prezzo unitario di contabilizzazione.

19.6 Cicli di pittura

La preparazione delle superfici e l'applicazione dei cicli sono contabilizzati separatamente.

Misurazione:

I prezzi di elenco relativi alle preparazioni ed all'applicazione dei cicli, distinti in base al tipo di trattamento e in base alle condizioni operative quali: esecuzione fuori cantiere; esecuzione a piè d'opera; esecuzione in opera sia su superfici esposte che su superfici interne (serbatoi chiusi, strutture scatolari e simili), sono applicati alle quantità ricavate come più avanti indicato. I prezzi relativi alle mani singole, distinti come detto per i cicli completi, sono applicati, in sostituzione dei prezzi relativi ai cicli completi, alle quantità ricavate come più avanti indicato, solo quando sono richieste dal Committente applicazioni non complete od applicazioni di mani aggiuntive ovvero quando è richiesta l'applicazione delle mani di cicli completi in condizioni operative diverse (esempio: prime mani fuori cantiere e mani a finire a piè d'opera od in opera). Quando le condizioni operative dipendono dalla scelta dell'Appaltatore, si applicano i prezzi relativi alle condizioni operative meno onerose e più economiche.

Superfici in genere.

Salvo quanto esplicitamente indicato in seguito, i prezzi di elenco sono applicati alle quantità corrispondenti alle superfici effettive ricavate da misurazioni eseguite con metodo geometrico; non sono comunque detratti i vani inferiori a 0,2 m².

Strutture portanti metalliche.

Le superfici delle strutture portanti sono misurate senza eseguire detrazioni né per tagli né per incastri fra le strutture e senza tener conto in alcun modo delle sporgenze dei bulloni. I ferri piatti e/o profilati uniti tra di loro, costituenti prolungamento di trave, vengono conteggiati considerando lo sviluppo della trave prolungata. Per i fazzoletti, mensole di lamiera, piastre, coste, ecc., chiamata S l'area totale di una faccia, la contabilizzazione delle loro parti pitturate è così effettuata:

- S inferiore o uguale a 0,1 m² = non sono contabilizzate in alcun modo;
- S maggiore di 0,1 m² = si contabilizzano le superfici effettivamente verniciate.

Lamiere striate.

I prezzi d'elenco sono applicati alle quantità corrispondenti alla superficie delle lamiere considerate come lisce.

Grigliati.

I prezzi d'elenco sono applicati alla superficie coperta dal grigliato, moltiplicata per un coefficiente maggiorativo stabilito come segue, con riferimento all'interasse degli elementi:

- per interassi minori o uguali a 30 mm: coefficiente pari a 2,0;
- per interassi maggiori di 30 mm: coefficiente pari a 1,5.

Lamiere grecate.

I prezzi d'elenco sono applicati alla superficie misurata in proiezione normale al piano di posa, moltiplicata per un coefficiente maggiorativo che tenga conto dell'effettivo sviluppo della lamiera. Per le lamiere grecate appoggiate su altre strutture da pitturare (solai) nessuna detrazione va eseguita per le parti a contatto sia della lamiera che della parte superiore delle travi.

Inferriate, cancelli, parapetti e paraschiena.

I prezzi d'elenco sono applicati alle quantità ottenute misurando, da una sola parte, la superficie in vista, vuoto per pieno, dopo la posa. Per i parapetti viene considerata quale altezza quella riferita al piano di calpestio,

senza tener conto di eventuali prolungamenti od attacchi. I supporti di sostegno per eventuali fili spinati (non pitturati) su inferriate vanno conteggiati separatamente e per la parte eccedente l'altezza dell'inferriata stessa.

Oneri particolari:

- i teli di protezione;
- l'esecuzione di profilatura in colori diversi;
- il completamento dei cicli in tempi successivi.

[Sono eventualmente da aggiungere altre voci di prezzo per, ad esempio, porte, portoni, finestre, lattonerie, pluviali, pannellature, etc., se oggetto dell'appalto]

20. Appendice A: Elenco disegni

[da compilare in rapporto all'opera specifica]

21. Appendice B: Normativa applicabile

D.M. 14.01.2008	Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008)
Circolare n. 617 del 02.02.2009	Istruzioni per l'applicazione del D.M. 14.01.2008
UNI EN 1090-1	Esecuzione di strutture in acciaio ed alluminio – Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali
UNI EN 1090-2	Esecuzione di strutture in acciaio ed alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture in acciaio
UNI EN 10025	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali
UNI EN 1993-1-1	Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
UNI EN 1993-1-1	Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
UNI EN 1993-1-8	Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
UNI EN 10020	Definizione e classificazione dei tipi di acciaio.
UNI EN 10027-1	Sistemi di designazione degli acciai. Designazione alfanumerica, simboli principali.

UNI EN 10027-2	Sistemi di designazione degli acciai. Designazione numerica.
UNI 5397	Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Travi HE ad ali larghe parallele. Dimensioni e tolleranze.
UNI 5398	Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Travi IPE ad ali strette parallele. Dimensioni e tolleranze.
UNI 5679	Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Travi IPN. Dimensioni e tolleranze.
UNI EU 54	Piccoli profilati di acciaio a U laminati a caldo
UNI EN 10034	Travi ad I e ad H di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma
UNI EN 10279	Profilati a U di acciaio laminati a caldo - Tolleranze sulla forma, sulle dimensioni e sulla massa
UNI EN 10279	Profilati a U di acciaio laminati a caldo - Tolleranze sulla forma, sulle dimensioni e sulla massa
UNI EN 10056-1	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali – Dimensioni
UNI EN 10056-2	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10055 UNI EN 10029	Profilati a T ad ali uguali e a spigoli arrotondati di acciaio, laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze dimensionali e di forma. Lamiere di acciaio laminate a caldo, di spessore \geq di 3 mm. Tolleranze dimensionali, di forma e sulla massa
UNI EN 10017	Vergella di acciaio destinata alla trafilatura e/o alla laminazione a freddo - Dimensioni e tolleranze.
UNI EN 10048	Nastri stretti di acciaio laminati a caldo - Tolleranze sulle dimensioni e sulla forma
UNI EN 10051	Lamiere e nastri laminati a caldo in continuo, non rivestiti, di acciai non legati e legati - Tolleranze dimensionali e di forma.

UNI EN 10058	Barre di acciaio piane laminate a caldo per impieghi generali - Dimensioni e tolleranze sulla forma e sulle dimensioni
UNI EN 10059	Barre di acciaio quadre laminate a caldo per impieghi generali - Dimensioni e tolleranze sulla forma e sulle dimensioni.
UNI EN 10060	Barre di acciaio tonde laminate a caldo per impieghi generali - Dimensioni e tolleranze sulla forma e sulle dimensioni
UNI EN 10061	Barre di acciaio esagone laminate a caldo per impieghi generali - Dimensioni e tolleranze sulla forma e sulle dimensioni.
UNI EN 10031	Prodotti semilavorati per forgiatura - Tolleranze sulle dimensioni sulla forma e sulla massa.
UNI EN 10140	Nastri stretti di acciaio laminati a freddo - Tolleranze sulle dimensioni e sulla forma
UNI EN 10143:2006	Lamiere sottili e nastri di acciaio con rivestimento applicato per immersione a caldo in continuo - Tolleranze sulla dimensione e sulla forma.
UNI EN 10149-1:1997	Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo. Condizioni generali di fornitura.
UNI EN 10149-2:1997	Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo. Condizioni di fornitura degli acciai ottenuti mediante laminazione termomeccanica.
UNI EN 10149-3:1997	Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo. Condizioni di fornitura degli acciai normalizzati o laminati normalizzati.
UNI EN 10169-1:2007	Prodotti piani di acciaio rivestiti in continuo con materiale organico (nastri larghi rivestiti) - Parte 1: Informazioni generali (definizioni, materiali, tolleranze, metodi di prova).
UNI EN 10169-2:2007	Prodotti piani di acciaio rivestiti in continuo con materiale organico (nastri rivestiti) - Parte 2: Prodotti per applicazioni esterne negli edifici.
UNI EN 10169-3:2007	Prodotti piani di acciaio rivestiti in continuo con materiale organico (nastri larghi rivestiti) - Parte 3: Prodotti per applicazioni interne negli edifici
UNI EN 10210-1:2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura.

UNI EN 10210-2:2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo.
UNI EN 10219-1:2006	Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 10219-2:2006	Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo
UNI EN 10268:2006	Prodotti piani laminati a freddo di acciaio ad alto limite di snervamento per formatura a freddo - Condizioni tecniche di fornitura.
ISO 4997:2007	Cold-reduced carbon steel sheet of structural quality.
UNI EN 10346:2009	Prodotti piani di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo - Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN ISO 898-1:2009	Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniera con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine.
UNI EN 14782:2006	Lastre metalliche autoportanti per coperture, rivestimenti esterni e interni - Specifica di prodotto e requisiti
UNI EN 508-1:2008	Prodotti di lastre metalliche per coperture - Specifiche per prodotti autoportanti in lastre di acciaio, alluminio o acciaio inossidabile - Parte 1: Acciaio
UNI EN 15048-1:2007	Bulloneria strutturale non a serraggio controllato - Parte 1: Requisiti generali.
UNI EN ISO 4014:2003	Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categorie A e B
UNI EN ISO 4016:2002	Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C
UNI EN ISO 4017:2002	Viti a testa esagonale con gambo interamente filettato - Categorie A e B
UNI EN ISO 4018:2002	Viti a testa esagonale con gambo interamente filettato - Categoria C
UNI EN 20898-2:1994	Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento. Dadi con carichi di prova determinati. Filettatura a passo grosso.

UNI EN ISO 6507-1:2006	Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova.
UNI EN 14399-1:2005	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 1: Requisiti generali.
UNI EN 14399-3:2005	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato Parte 3: Sistema HR - Assieme vite e dado esagonali.
UNI EN 14399-4:2005	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 4: Sistema HV - Assieme vite e dado esagonali.
UNI EN 14399-5:2005	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 5: Rondelle piane.
UNI EN 14399-6:2005	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 6: Rondelle piane smussate.
UNI EN 14399-10:2009	Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 10: Sistema HRC - Assieme vite e dado con serraggio calibrato
UNI EN ISO 10684:2005	Elementi di collegamento - Rivestimenti di zinco per immersione a caldo
UNI EN ISO 4042	Elementi di collegamento – rivestimenti elettrolitici
UNI EN ISO 13918:2009	Saldatura - Prigionieri e ferrule ceramiche per la saldatura ad arco dei prigionieri.
UNI EN 10204:2005	Prodotti metallici - Tipi di documenti di controllo.
UNI EN ISO 9013	Taglio termico - Classificazione dei tagli termici - Specificazione geometrica del prodotto e tolleranze relative alla qualità.
UNI EN ISO 3834-1:2006	Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 1: Criteri per la scelta del livello appropriato dei requisiti di qualità.
UNI EN ISO 3834-2:2006	Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 2: Requisiti di qualità estesi
UNI EN ISO 3834-3:2006	Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 3: Requisiti di qualità normali.

UNI EN ISO 3834-4:2006	Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 3: Requisiti di qualità normali.
UNI EN ISO 3834-5:2006	Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 5: Documenti ai quali è necessario conformarsi per poter dichiarare la conformità ai requisiti di qualità di cui alle parti 2, 3 o 4 della ISO 3834.
UNI EN ISO 15609-1/5	Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Specificazione della procedura di saldatura.
UNI EN ISO 15613:2005	Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Qualificazione sulla base di prove di saldatura di pre-produzione
UNI EN ISO 15614-1:2008	Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Prove di qualificazione della procedura di saldatura - Parte 1: Saldatura ad arco e a gas degli acciai e saldatura ad arco del nichel e leghe di nichel.
UNI EN ISO 9606-1	Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai
UNI EN ISO 14732	Personale di saldatura - Prove di qualificazione degli operatori di saldatura e dei preparatori di saldatura per la saldatura completamente meccanizzata ed automatica di materiali metallici.
UNI EN ISO 9692-1:2005	Saldatura e procedimenti connessi - Raccomandazioni per la preparazione dei giunti - Parte 1: Saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti, saldatura ad arco con elettrodo fusibile sotto protezione di gas, saldatura a gas, saldatura TIG e saldatura mediante fascio degli acciai.
UNI EN ISO 9692-2:2001	Saldatura e procedimenti connessi - Preparazione dei giunti - Saldatura ad arco sommerso degli acciai.
UNI EN ISO 17637:2011	Controllo non distruttivo delle saldature - Esame visivo di giunti saldati per fusione.
UNI EN 1714:2005	Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni dei giunti saldati
UNI EN ISO 17638:2010	Controllo non distruttivo delle saldature – Controllo con particelle magnetiche.
UNI EN 1291:2006	Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo magnetoscopico con

	particelle magnetiche delle saldature - Livelli di accettabilità.
UNI EN ISO 6789:2004	Attrezzi di manovra per viti e dadi - Attrezzi dinamometrici a mano - Requisiti e metodi di prova per verificare la rispondenza al progetto, la conformità alla qualità e la procedura per la ricalibrazione.
UNI EN ISO 3452-1:2013	Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti - Parte 1: Principi generali.
UNI EN 1289:2006	Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo delle saldature mediante liquidi penetranti - Livelli di accettabilità.
UNI EN 473:2008-11	Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive - Principi generali.
UNI EN ISO 17640:2011	Controllo non distruttivo delle saldature – Controllo mediante ultrasuoni - Tecniche di controllo, livelli di prova e valutazione.
UNI EN ISO 23279:2010	Controllo non distruttivo delle saldature – Controllo mediante ultrasuoni - Caratterizzazione delle indicazioni nelle saldature.
UNI EN ISO 17636-1:2013	Prove non distruttive delle saldature - Controllo radiografico - Parte 1: Tecniche a raggi -X e gamma mediante pellicola.
UNI EN ISO 17636-2:2013	Prove non distruttive delle saldature – Controllo radiografico - Parte 2: Tecniche a raggi -X e gamma con rivelatore digitale.
UNI EN ISO 5817:2008	Saldatura - Giunti saldati per fusione di acciaio, nichel, titanio e loro leghe (esclusa la saldatura a fascio di energia) - Livelli di qualità delle imperfezioni.
UNI EN ISO 17635:2010	Controllo non distruttivo delle saldature - Regole generali per i materiali metallici.
UNI EN 10160	Controllo con ultrasuoni di prodotti piani di acciaio con spessore maggiore o uguale a 6 mm (metodo per riflessione)
UNI UN ISO 12944-1	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Introduzione generale.
UNI UN ISO 12944-2	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Classificazione degli ambienti.

UNI UN ISO 12944-3	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Considerazioni sulla progettazione.
UNI UN ISO 12944-4	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Tipi di superficie e loro preparazione.
UNI UN ISO 12944-5	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Sistemi di verniciatura protettiva.
UNI UN ISO 12944-6	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Prove di laboratorio per le prestazioni.
UNI UN ISO 12944-7	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura – Esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura.
UNI EN ISO 1461:2009	Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova.
UNI EN ISO 14713-1	Rivestimenti di zinco - Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi - Parte 1: Principi generali di progettazione e di resistenza alla corrosione.
UNI EN ISO 14713-2	Rivestimenti di zinco - Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi - Parte 2: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo.
UNI EN ISO 8501-2	Preparazione delle superfici di acciaio prima dell'applicazione di pitture e prodotti affini - Valutazione visiva del grado di pulitura della Parte 2: Gradi di preparazione di superfici di acciaio già rivestite dopo rimozione locale dei rivestimenti precedenti
UNI EN ISO 8501-3	Preparazione di substrati di acciaio prima dell'applicazione di pitture e prodotti correlati - Valutazione visiva del grado di pulitura della superficie - Parte 3: Gradi di preparazione di saldature, bordi e altre aree con imperfezioni superficiali
UNI EN ISO 8501-4	Preparazione dei substrati di acciaio prima dell'applicazione di pitture e prodotti correlati - Valutazione visiva del grado di pulitura della superficie - Parte 4: Condizioni della superficie, gradi di preparazione e gradi di ruggine immediata in seguito a spruzzatura di acqua ad alta pressione
UNI EN ISO 8503-1	Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbiatura - Parte 1: Requisiti e definizioni relative a campioni di comparazione visotattile ISO per la valutazione

	ne delle superfici sabbiate dopo il trattamento abrasivo
UNI EN ISO 8503-2	Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbiatura - Parte 2: Metodo per classificare il profilo della superficie di acciaio che è stata trattata mediante sabbiatura - Procedimento di confronto
UNI EN ISO 8503-3	Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbiatura - Parte 3: Metodo per la taratura dei campioni di comparazione visotattile ISO e per la determinazione del profilo della superficie - Procedimento al microscopio ottico
UNI EN ISO 8503-4	Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbiatura - Parte 4: Metodo per la taratura dei campioni di comparazione visotattile ISO e per la determinazione del profilo della superficie - Procedimento con strumento a stilo
ISO 19840	Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems -- Measurement of, and acceptance criteria for, the thickness of dry films on rough surfaces

Commentario al Capitolato Tecnico

C1. Scopo

In questo paragrafo iniziale si deve indicare lo scopo del documento, quello cioè di fornire tutte le prescrizioni tecniche e tutte le informazioni necessarie affinché l'Appaltatore possa svolgere il suo lavoro garantendo un elevato livello di qualità, e comunque il livello di qualità voluto dal Committente.

Va altresì sottolineato che questo è un documento contrattuale, che pertanto l'Appaltatore accetta come fonte di tutte le informazioni tecniche che gli servono (assieme ai disegni di progetto elencati nell'Appendice A). Qualora alcune informazioni risultassero mancanti, l'Appaltatore dovrebbe quindi richiederle contestualmente all'accettazione dell'ordine.

C2. Oggetto

In questo paragrafo va descritto lo scenario in cui la fornitura dovrà collocarsi. Dopo una sommaria descrizione dell'opera, occorrerà indicare la località dove l'opera verrà costruita, individuarne latitudine e longitudine, dare indicazioni della viabilità della zona, importante affinché l'Appaltatore possa valutare le eventuali difficoltà nel trasporto del materiale fornito, dare indicazioni sulle condizioni ambientali (temperature medie minime e massime, piovosità).

Occorre poi indicare vita nominale dell'opera e classe d'uso, secondo NTC2008 §2.4.1 e §2.4.2.

Occorre infine indicare la classe di esecuzione delle strutture (o le varie classi di esecuzione per parti delle strutture), secondo quanto previsto dalle UNI EN 1090-2 (vedi §7 e §C7) e la classe di tolleranze funzionali scelta (vedi §C12).

C3. Prestazioni

Qui si elencano le prestazioni che si richiedono al Costruttore.

Della progettazione e del come parte di essa potrebbe essere affidata direttamente all'Appaltatore, diremo al §6 (e §C6).

Prefabbricazione, prove e controlli sono ovviamente il cuore dell'attività dell'Appaltatore.

Egli potrebbe anche svolgere il montaggio, oppure il nostro Committente potrebbe affidarlo ad altri.

Se si hanno strutture complesse e molto critiche, si potrebbero richiedere dei premontaggi in officina di qualche portale principale, per esempio, per verificare che la costruzione è stata eseguita a regola d'arte.

L'inghisaggio dei tirafondi di fondazione potrebbe essere chiesto all'Appaltatore, ma forse più convenientemente può essere fatto fare a chi realizza le fondazioni, con bulloni forniti dal nostro Appaltatore al quale si chiede però una supervisione affinché si responsabilizzi su tale delicata operazione.

Per quanto riguarda i controlli non distruttivi sulle saldature, al §10.5 sono indicate due serie di controlli, una con estensione minore (tabella 10.5.1a) e un'altra con estensione maggiore (tabella 10.5.1b). La prima adatta a strutture di minore impegno, la seconda a strutture di maggiore impegno, come preciseremo nel seguito. Qui occorre indicare quale serie di controlli si sceglie ed eventualmente indicare una alternativa a quelli proposti in questo testo.

Per i trattamenti protettivi superficiali, se sono eseguiti mediante verniciatura, va specificato quando tale verniciatura va fatta: prime mani in officina ed ultima in cantiere a montaggio avvenuto, oppure ciclo completo in officina e *touch-up* in opera a montaggio avvenuto, ad esempio. La prima scelta è più costosa ma il risultato migliore, la seconda più rapida, meno costosa ma l'effetto estetico potrebbe non essere completamente soddisfacente.

C4. Descrizione della fornitura

Qui deve essere descritta la fornitura. Se il progetto è completo in tutte le sue parti, allora basterebbero i disegni a descriverlo. Altrimenti, se i disegni sono solo indicativi, occorre descriverla a parole, cercando di individuare le caratteristiche fondamentali che consentano all'Appaltatore di formulare un prezzo: dimensioni, tipologia, pesi, tipi di profili, tipi di connessioni.

Il prezzo varia con l'entità della fornitura, varia se si tratta di piccola, media o grossa carpenteria, se si usano profili laminati commerciali o travi composte saldate oppure ancora leggere strutture reticolari, se si usano

bullonature a taglio o ad attrito, se ci sono saldature a completa penetrazione piuttosto che a cordoni d'angolo, se la struttura è verniciata o zincata, se l'ambiente è aggressivo ai fini della corrosione o meno, etc. I prezzi del montaggio variano anche in funzione dello spazio a disposizione, se si monta su un terreno libero o in presenza di strutture esistenti, etc.

Va poi detto se si tratta di fornitura in opera o franco cantiere, cioè se l'Appaltatore è incaricato o meno del montaggio.

Una fornitura o appalto di strutture in acciaio può essere impostata in due modi: a) a *forfait*; b) a misura.

Se disponiamo, al momento della gara per la costruzione, di un progetto definito in tutti i suoi dettagli o quasi, dal quale quindi risulti chiaramente il peso delle strutture, le tipologie, i tipi di collegamento, etc., allora in genere conviene richiedere una offerta a *forfait*. L'Appaltatore farà le sue valutazioni e formulerà un prezzo globale per l'opera.

Se invece il progetto non è ben definito e temiamo che, dal momento in cui lanciamo la gara a quello in cui l'Appaltatore inizia a lavorare, il progetto si modifichi sostanzialmente, sia come quantità di strutture da fornire che come tipologia, allora è meglio chiedere una offerta a misura. L'Appaltatore farà le sue valutazioni e offrirà un prezzo unitario: €/Kg per le strutture in acciaio. Si comporterà quindi in modo analogo per le altre voci che compongono la fornitura: grigliati, lamiere striate, verniciatura, scossaline, etc. Certo, anche in questo caso dovremo in fase di gara comunque fornire un progetto preliminare che consenta all'Appaltatore di rendersi conto dell'ammontare approssimativo della fornitura e della tipologia delle strutture.

C5. Esclusioni dalla fornitura

Qui si elenca specificatamente cosa l'Appaltatore non deve fare.

Da notare, tra le cose che potrebbero essere escluse, la fornitura dei tirafondi, perché potrebbe accadere che essi servano, dovendo essere annegati nel getto, in una fase della realizzazione in cui il nostro Appaltatore non ha ancora iniziato a lavorare. Potrebbe allora convenire farli fornire (e posare) all'Appaltatore delle opere civili, ad esempio.

C6. Progettazione

Parlare della progettazione in un Capitolato non vuol dire ovviamente parlare delle regole da seguire nel progettare, delle scelte tipologiche, delle normative da seguire, etc. Vuol dire parlare di chi fa cosa nella progettazione, di chi approva cosa e di cosa si deve produrre prima e cosa dopo tra i documenti progettuali. Questi argomenti non hanno molto senso quando la progettazione è in mano ad una sola persona e l'opera è di dimensioni non grandi, ma acquistano importanza con il crescere della dimensione delle opere e con la parcellizzazione della progettazione, divisa tra Progettista ed Appaltatore.

C6.1 Definizioni

In questo paragrafo si elencano gli elaborati di progetto che devono essere preparati e i dati minimi che in essi devono essere contenuti, affinché il flusso progettuale possa svolgersi senza mancanze ed in modo ordinato.

C6.2 Modalità di progettazione

L'idea di parlare delle modalità di progettazione, intese come le modalità operative nelle quali la progettazione può essere articolata tra Committente, Progettista ed Appaltatore, con le relative responsabilità, deriva dalla specifica inglese [3]. La UNI EN 1090-2 infatti non parla di questo argomento, né tantomeno lo fanno le norme italiane.

Nella specifica [3] sono previste 3 modalità di progettazione:

1) Il Committente prepara solamente dei disegni concettuali della struttura, per illustrare le proprie esigenze, mentre l'Appaltatore esegue tutta la progettazione: progetto preliminare con identificazione dell'unifilare, dimensionamento degli elementi strutturali (travi e colonne), calcolo delle connessioni e loro sviluppo.

2) Il Committente, mediante il proprio Progettista, esegue un progetto di massima della struttura identificandone l'unifilare, mentre l'Appaltatore esegue il dimensionamento degli elementi strutturali (travi e colonne), il calcolo delle connessioni ed il loro sviluppo, sulla base dei carichi agenti sulla struttura fornitigli dal Progettista.

3) Il Committente, mediante il proprio Progettista, esegue il dimensionamento degli elementi strutturali (travi e colonne), mentre l'Appaltatore esegue il calcolo delle connessioni ed il loro sviluppo, sulla base delle azioni sulle connessioni fornitigli dal Progettista.

Come si vede, passando dalla modalità 1 alla 3, diminuisce l'impegno progettuale dell'Appaltatore ed aumenta quello del Committente.

La modalità 1 è quella tipica del Committente che non ha interesse ad entrare nel processo progettuale, ma al quale interessa solo che l'opera che compra risponda a certe esigenze funzionali. Le altre due modalità riguardano invece Committenti che, per varie ragioni, vogliono entrare nel processo progettuale, ad esempio perché si tratta di un impianto industriale e la struttura si interfaccia pesantemente con l'impiantistica che il Committente cura personalmente.

Nella nostra proposta di Capitolato Tecnico abbiamo mantenuto la definizione di 3 modalità progettuali, ma con qualche differenza rispetto a quella inglese.

La modalità A è sostanzialmente uguale alla modalità 1 inglese. La B e la C le abbiamo invece così definite:

B) Il Committente, mediante il proprio Progettista, esegue il progetto di massima della struttura identificandone l'unifilare e il dimensionamento degli elementi strutturali (travi e colonne), mentre l'Appaltatore esegue il calcolo delle connessioni ed il loro sviluppo, sulla base dei carichi agenti sulla struttura fornitigli dal Progettista.

C) Il Committente, mediante il proprio Progettista, esegue il progetto di massima della struttura identificandone l'unifilare, il dimensionamento degli elementi strutturali (travi e colonne), il calcolo delle connessioni ed il disegno di connessioni tipiche; sulla base dei disegni tipici delle connessioni l'Appaltatore esegue il loro sviluppo.

Come si vede la modalità inglese 3 coincide con la nostra B, mentre la nostra modalità C, dove il Progettista, pagato dal Committente, fa praticamente il calcolo di tutte le connessioni, non è prevista dalla [3], che invece prevede un Appaltatore che dimensiona anche le aste (modalità 2).

Abbiamo definito diversamente le 3 categorie, spostando sostanzialmente più progettazione dall'Appaltatore al Committente, in funzione della prassi che ci risulta si applichi da noi, anche perché le nostre carpenterie metalliche, salvo eccezioni, non sono dotate di studi tecnici in grado di svolgere molta progettazione, e spesso la modalità C è la preferita.

Un esempio di applicazione della modalità B, che è poi la modalità 3 degli inglesi, si ha ad esempio nella progettazione e realizzazione della bellissima copertura dello stadio Aviva di Dublino, dove il progetto costruttivo della struttura, comprensivo della definizione e del calcolo delle connessioni, nonché la realizzazione ed il montaggio della struttura sono stati eseguiti dalla ditta Cimolai S.p.A. di Pordenone, su progetto strutturale di Buro Happold, Bath (GB) (vedi la rivista "Costruzioni Metalliche", n. 6, nov-dic 2010). Da notare che, come illustrato nell'articolo, il progettista Buro Happold ha sviluppato una specifica tecnica che richiama sostanzialmente la specifica BCSA [3], perciò il lavoro è stato realizzato nel rispetto di questo documento.

Individuata la modalità di progettazione, abbiamo individuato le famiglie di documenti che vanno prodotti, e il tipo di sorveglianza che su di essi va fatta, se cioè vanno approvati o semplicemente ricevuti per informazione. Tutto ciò è spiegato (si spera in modo chiaro) nel testo del §6.2 della nostra Proposta di Capitolato Tecnico. Sapere insomma, in ogni fase del progetto, chi deve fare cosa, cioè che documenti devono essere prodotti, chi li deve produrre, chi eventualmente li deve approvare e che informazioni devono essere in essi contenute, aiuta a svolgere più velocemente e con minor possibilità d'errore l'attività progettuale. Certamente ingrediente indispensabile per una buona progettazione è l'aver un buon progettista che segue delle buone regole di progettazione, ma senza ordine nel flusso progettuale, quando si tratti di opere complesse, anche un buon progettista può commettere errori notevoli.

Una ultima osservazione circa il richiamo, fatto nel testo del Capitolato, della necessità di individuare da parte del Progettista degli aspetti fondamentali dei materiali di finitura che si adotteranno, cioè principalmente pannellature di parete e di copertura. La scelta di tali materiali deve essere fatta dal Progettista o almeno con l'accordo del Progettista, perché essi hanno interazioni non trascurabili con le strutture.

C7. Classi di esecuzione delle strutture

C7.1 Cosa sono le classi di esecuzione?

La nostra proposta di Capitolato Tecnico è sviluppata utilizzando la classificazione delle strutture e/o dei vari elementi che le compongono in *classi di esecuzione*, come riportato nelle UNI EN 1090-2. Le classi di esecuzione sono quattro, EXC1, EXC2, EXC3 ed EXC4, e sono sostanzialmente classi di qualità, cioè ad esse sono associati livelli di qualità crescenti nella realizzazione, passando dalla classe EXC1 alla EXC4. I requisiti associati ad ogni classe sono definiti nel corpo della norma e riassunti nella tabella A.3 dell'Allegato A che riproduciamo in tabella C7.1.

Le differenze nei requisiti richiesti dalle varie classi sono molte, e molte di esse di interesse solo per chi deve eseguire le lavorazioni, cioè per le Carpenterie o Centri di trasformazione. Alcune però sono di interesse anche per il progettista che stende un capitolato, o per il Direttore dei Lavori che deve eseguire dei controlli. Notiamo tra le altre differenze:

- la rintracciabilità, cioè la possibilità di legare qualsiasi pezzo semplice o composto saldato (in questo caso qualsiasi profilo o lamiera che lo compone) ai certificati d'origine del materiale, non è richiesta per la classe EXC1, è richiesta parzialmente per la EXC2 e totalmente per le EXC3 ed EXC4;
- l'esecuzione dei fori può avvenire per punzonatura per le classi EXC1 e 2, ma per le classi 3 e 4 la punzonatura può essere eseguita solo se seguita da asolatura;
- la conoscenza tecnica del Coordinatore di saldatura deve essere maggiore per le classi 2, 3 e 4 rispetto alla 1 (e definita nelle tabelle 14 e 15 della UNI EN 1090-2);
- i criteri di accettabilità delle saldature sono sempre definiti dalla EN ISO 5817, ma per la EXC1 si accetta il grado di qualità D, per la EXC2 il grado C, per la EXC3 il grado B e per la EXC4 il grado B+ (cioè meno difetti accettabili col crescere delle classi);
- i controlli non distruttivi sulle saldature sono crescenti con le classi e regolati dalla tabella 24 della UNI EN 1090-2;
- i controlli sul serraggio dei bulloni ad attrito, non richiesti per la EXC1, sono crescenti dalla EXC2 alla EXC3 ed EXC4.

Il concetto di classi di esecuzione non è contenuto nelle NTC2008 semplicemente perché le nostre norme sono state emesse prima della UNI EN 1090-2. Nella bozza delle NTC2012 si cita invece espressamente la 1090 (§4.2): *"I requisiti per l'esecuzione di strutture di acciaio, al fine di assicurare un adeguato livello di resistenza meccanica e stabilità, di efficienza e di durata devono essere conformi alle UNI EN 1090-2:2011 - Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio"*. Pertanto ci pare opportuno strutturare il nostro Capitolato attorno alle classi di esecuzione che consentono tra l'altro una graduazione dei requisiti da strutture meno impegnative a quelle più impegnative.

Tabella C7.1 – Requisiti legati alle classi d'esecuzione (da Tab. A.3 di EN 1090-2) - Parte 1

Clausola	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 – Specifiche e documentazione				
4.2 – Documentazione del Costruttore				
4.2.1 – Documentazione relativa alla qualità	NR	Si	Si	Si
5 – Prodotti costitutivi				
5.2 – Identificazione, documenti d'ispezione e tracciabilità				
Documenti d'ispezione (certificati dei materiali)	v. Tab. 1	v. Tab. 1	v. Tab. 1	v. Tab. 1
Tracciabilità	NR	Si (parziale)	Si (completa)	Si (completa)
Marcatura	NR	Si	Si	Si

5.3 – Acciai strutturali				
5.3.2 – Tolleranze sullo spessore	Classe A	Classe A	Classe A	Classe B
5.3.3 – Condizioni superficiali	lam.: Classe A2 prof.: Classe C1	lam.: Classe A2 prof.: Classe C1	Condizioni più restrittive, se specificate	Condizioni più restrittive, se specificate
5.3.4 – Proprietà speciali	NR	NR	Controllo classe S1 EN 10160 in giunti cruciformi	Controllo classe S1 EN 10160 in giunti cruciformi
6 – Preparazione ed assemblaggio				
6.2 - Identificazione	NR	NR	Identificazione dei componenti lavorati	Identificazione dei componenti lavorati

NR = Nessun Requisito

Tabella C7.1 – Requisiti legati alle classi d'esecuzione (da Tab. A.3 di EN 1090-2) - Parte 2

Clausola	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
6.4 - Taglio				
6.4.3 – Taglio termico	Libero da irregolarità significative; Durezza secondo Tab. 10, se specificato	EN ISO 9013 u = 4 Rz5 = 4 Durezza secondo Tab. 10, se specificato	EN ISO 9013 u = 4 Rz5 = 4 Durezza secondo Tab. 10, se specificato	EN ISO 9013 u = 3 Rz5 = 3 Durezza secondo Tab. 10, se specificato
6.5 - Formatura				
6.5.3 - Raddrizzamento alla fiamma	NR	NR	Sviluppare adeguata procedura	Sviluppare adeguata procedura
6.6 – Forature				
6.6.3 – Esecuzione di fori	Punzonatura	Punzonatura	Punzonatura + alesatura	Punzonatura + alesatura
6.7 - Intagli	NR	Raggio min. 5 mm	Raggio min. 5 mm	Raggio min. 10 mm Punzonatura vietata
6.9 - Assemblaggio	Ovalizzazione dei fori per consentire assemblaggio: ± 1 mm	Ovalizzazione dei fori per consentire assemblaggio: ± 1 mm	Ovalizzazione dei fori per consentire assemblaggio: ± 0,5 mm	Ovalizzazione dei fori per consentire assemblaggio: ± 0,5 mm

Tabella C7.1 – Requisiti legati alle classi d'esecuzione (da Tab. A.3 di EN 1090-2) - Parte 3

Clausola	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
7 - Saldatura				
7.4 – Qualificazione delle procedure di saldatura e del personale				
7.4.1 - Qualificazione delle procedure di saldatura	NR	v. Tabb. 12 e 13	v. Tabb. 12 e 13	v. Tabb. 12 e 13
7.4.2 - Qualificazione dei saldatori ed operatori	Sald.: EN 287-1 Op.: EN 1418	Sald.: EN 287-1 Op.: EN 1418	Sald.: EN 287-1 Op.: EN 1418	Sald.: EN 287-1 Op.: EN 1418
7.4.3 – Coordinatori di saldatura	NR	Conoscenza tecnica secondo Tabb. 14 e 15 ⁽¹⁾	Conoscenza tecnica secondo Tabb. 14 e 15 ⁽¹⁾	Conoscenza tecnica secondo Tabb. 14 e 15 ⁽¹⁾
7.5.1 – Preparazione dei giunti	NR	NR	<i>Shop primer</i> su parti da saldare non consentito	<i>Shop primer</i> su parti da saldare non consentito
7.5.6 – Saldatura di supporti provvisori	NR	NR	L'uso deve essere specificato. Vietata la rimozione mediante taglio.	L'uso deve essere specificato. Vietata la rimozione mediante taglio.
7.5.7 – Saldatura a tratti	NR	Procedura qualificata	Procedura qualificata	Procedura qualificata
7.5.9 – Saldature a completa penetrazione				
7.5.9.1 - Generalità	NR	Uso di piastre di <i>run-on/run-off</i> se specificato	Uso di piatti di <i>run-on/run-off</i> se specificato	Uso di piatti di <i>run-on/run-off</i> se specificato
7.5.9.2 - Saldature eseguite da un lato solo	NR	NR	Piatto di supporto al rovescio continuo	Piatto di supporto al rovescio continuo
7.5.17 – Esecuzione delle saldature			Rimozione delle scorie	Rimozione delle scorie
7.6 – Criteri di accettazione	EN ISO 5817 Livello di qualità D se specificato	EN ISO 5817 Livello di qualità C	EN ISO 5817 Livello di qualità B	EN ISO 5817 Livello di qualità B+

(1) La Tabella 14 della UNI EN 1090-2 corrisponde alla nostra tabella 10.1.2; la Tabella 15 è relativa agli acciai inox e non l'abbiamo riportata in questo testo.

Tabella C7.1 – Requisiti legati alle classi d'esecuzione (da Tab. A.3 di EN 1090-2) - Parte 4

Clausola	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
9 - Montaggio				
9.6 – Montaggio e lavori in opera				
9.6.3 - Movimentazione e stoccaggio in cantiere	NR	Procedura per metodi di riparazione da danni di trasporto/stoccaggio	Procedura per metodi di riparazione da danni di trasporto/stoccaggio	Procedura per metodi di riparazione da danni di trasporto/stoccaggio
9.6.5.3 - Allineamento delle strutture	NR	NR	Fissaggio degli spessoramenti mediante saldatura, secondo capitolo 7	Fissaggio degli spessoramenti mediante saldatura, secondo capitolo 7
12 – Controlli, prove ed azioni correttive				
12.4.2 – Controlli delle saldature				
12.4.2.2 – Tipo di controllo	Controllo visivo	Controlli non distruttivi v. Tab. 24 ⁽²⁾	Controlli non distruttivi v. Tab. 24 ⁽²⁾	Controlli non distruttivi v. Tab. 24 ⁽²⁾
12.4.2.5 - Riparazione delle saldature	Non necessaria procedura	Secondo procedura di saldatura qualificata	Secondo procedura di saldatura qualificata	Secondo procedura di saldatura qualificata
12.4.4 – Test di produzione	NR	NR	Se specificato	Se specificato

(2) La Tabella 24 della UNI EN 1090-2 corrisponde alla tabella C10.3 di questo testo.

Tabella C7.1 – Requisiti legati alle classi d'esecuzione (da Tab. A.3 di EN 1090-2) - Parte 5

Clausola	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
12.5.2 – Verifica delle connessioni bullonate ad attrito				
12.5.2.2 – Prima del serraggio		Controllo della procedura di serraggio; controllo certif. di calibrazione chiave dinamometrica	Controllo della procedura di serraggio; controllo certif. di calibrazione chiave dinamometrica	Controllo della procedura di serraggio; controllo certif. di calibrazione chiave dinamometrica
12.5.2.3 – Durante e dopo il serraggio			controllo dopo fase 1	controllo dopo fase 1
		controllo dopo fase 2	controllo dopo fase 2	controllo dopo fase 2
		Sequenza di controllo tipo A ⁽³⁾	Sequenza di controllo tipo A ⁽³⁾	Sequenza di controllo tipo B ⁽³⁾
12.5.2.4 – Metodo della coppia		Identificazione dei lotti di elementi (vite-dado-rondella/e)	Identificazione dei lotti di elementi (vite-dado-rondella/e)	Identificazione dei lotti di elementi (vite-dado-rondella/e)
			Controllo procedura serraggio (per ogni lotto)	Controllo procedura serraggio (per ogni lotto)
		Controllo dopo fase 2	Controllo dopo fase 2	Controllo dopo fase 2
12.5.2.5 – Metodo combinato			Controllo dopo fase 1	Controllo dopo fase 1
		Controllo della marcatura	Controllo della marcatura	Controllo della marcatura
		Controllo dopo fase 2	Controllo dopo fase 2	Controllo dopo fase 2
12.5.3.1 – Controllo, prove ed azioni correttive per chiodi a caldo	NR	Sequenza di controllo tipo A ⁽³⁾	Sequenza di controllo tipo A ⁽³⁾	Sequenza di controllo tipo B ⁽³⁾

(3) Sequenze di controllo delle unioni bullonate tipo A o B secondo Appendice M della EN 1090-2, riportate in tabella 11.4.2 di questo testo.

C7.2 Come si sceglie la classe di esecuzione?

La 1090-2 dà delle indicazioni che guidano ad attribuire la classe corretta, in rapporto al *rischio di danni* che un malfunzionamento (cioè il superamento di uno stato limite di servizio o ultimo) della struttura può provocare, alle *categorie di servizio* (strutture soggette o meno a fatica, soggette o meno a sisma) e ai *criteri di produzione* (strutture prevalentemente bullonate oppure saldate). E' chiaro che il Committente può richiedere una classe superiore a quella che verrebbe fuori dall'applicazione dei suggerimenti della EN 1090-2, accettando ovviamente costi maggiori. Vediamo più nel dettaglio come si suggerisce di scegliere le classi. Nella tabella B.3 della UNI EN 1090-2, che riproduciamo nella tabella C7.2, è contenuta la regola per attribuire le classi ai componenti strutturali.

Tabella C7.2 Determinazione delle classi di esecuzione secondo UNI EN 1090-2

Classi di conseguenze		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3(*)	EXC3(*)
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3(*)	EXC4

Le classi di esecuzione "EXC3(*)" potrebbero essere portate a EXC4 per strutture speciali o con conseguenze molto onerose in caso di collasso strutturale, se richiesto dalle normative nazionali. Tale tabella è stata riportata nel testo del nostro Capitolato come tabella 7.1, limitandosi ad eliminare la nota precente (perché la normativa nazionale al momento non tratta la questione).

Come si vede, l'attribuzione delle classi di esecuzione dipende dalle *classi di conseguenze*, dalle *categorie di servizio* e dalle *categorie di produzione*. Esaminiamole tutte.

a) Classi di conseguenze

Danno una valutazione delle conseguenze di un eventuale crollo o dissesto strutturale in termini di perdite di vita umana e di danno economico. Si trovano definite, in forma leggermente diversa, in 2 Eurocodici: UNI EN 1990:2006 [5], Appendice B – prospetto B.1, e UNI EN 1991-1-7:2006 [6], Annex A – Table A.1.

Il primo identifica 3 classi, da CC1 a CC3, il secondo scinde la classe CC2 in 2 sottoclassi. Nella tabella 11.2 sono poste a confronto le definizioni ed esempi di appartenenza di edifici vari alle 3 classi. Abbiamo sintetizzato le due classificazioni nella tabella 7.2.

Tabella C7.3 Determinazione delle categorie di servizio

Categorie	Criteri
SC1	Strutture e componenti progettati per carichi quasi statici (ad es.: edifici); Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa duttilità (DCL) in zone sismiche a bassa sismicità; Strutture e componenti progettati per la fatica derivante dalle azioni di carroponti in classe S0.
SC2	Strutture e componenti progettati per la fatica secondo EN 1993 (ad es.: ponti ferroviari, carroponti dalla classe S1 alla S9, strutture suscettibili di vibrazioni indotte dal vento, folla o macchinario rotante); Strutture e componenti con connessioni progettate per media o alta duttilità (DCM e DCH) in zone sismiche a media o alta sismicità.

Note:

Classi di duttilità DCL, DCM e DCH definite in UNI EN 1998-1;

Classi di fatica dei carroponti S0-S9 definite in EN 1991-3 e EN 13001-1 (vedi tabella 7.3)

Tabella C7.4 Determinazione delle categorie di produzione

Categoria	Criterio
PC1	Elementi strutturali non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio; Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità inferiore all'S355.
PC2	Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore all'S355; Elementi essenziali per l'integrità strutturale che sono assemblati con saldature in opera; Componenti formati a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la lavorazione; Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.

b) Categorie di servizio

Sono definite nella tabella B.1 della UNI EN 1990-1, che riportiamo in tabella C7.3.

Ricordiamo che la classe di duttilità bassa DCL dell'EC8 corrisponde alle strutture non dissipative delle NTC2008, la classe di duttilità media DCM e quella di duttilità alta DCH dell'EC8 corrispondono rispettivamente alle classi di duttilità CD"B" e CD"A" delle norme italiane. Pertanto nel testo del capitolato è stata introdotta la tabella 7.4, derivata dalla C7.3, facendo solo riferimento alla normativa nazionale e non all'EC8.

Le classi S di utilizzo dei carroponti sono definite nella norma UNI CEN/TS 13001-3-1, appendice B – prospetto B.1, che è la parte 3. della UNI EN 13001-1, e che riproduciamo nella tabella 7.3.

c) Categorie di produzione

Le categorie di produzione si riferiscono alla tipologia della struttura da realizzare, e sono definite nella tabella B.2 della UNI EN 1090-2, che riportiamo nella tabella C7.4 che nel testo del Capitolato è diventata tabella 7.5.

Come si vede nella tabella citata, le strutture sciolte e bullonate sono ritenute di lavorazione meno critica di strutture saldate, essendo il procedimento di saldatura più esposto a rischi di quello di bullonatura, e anche l'impiego di acciai di qualità superiore è giudicato più critico.

Con l'insieme delle classificazioni esposte è perciò possibile determinare la classe di esecuzione di un'opera. Per esempio:

1) Sala macchine di centrale elettrica, realizzata con colonne composte saldate in acciaio S275 ed in sito non sismico, gru n. 3 dalla tabella 7.3, in classe S1-S3 :

- a) Classe di conseguenza CC2 (cfr. la sottoclasse 2a della tabella 7.2 tratta dalle EN 1991-1-7, dove si parla esplicitamente di "edifici industriali sino a 3 piani");
- b) Categoria di servizio SC1 ("Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa duttilità (DCL) in zone sismiche a bassa sismicità");
- c) Categoria di produzione PC1 ("Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità inferiore all'S355").
- d) Con CC2, SC1 e PC1 dalla tabella C7.2 deriva una classe di esecuzione EXC2.

2) Le vie di corsa della stessa sala macchine:

- a) Classe di conseguenza CC2, come prima;
- b) Categoria di servizio SC2, diversa dalla precedente ("Strutture e componenti progettati per la fatica secondo EN 1993, ad es.: ponti ferroviari, carroponti dalla classe S1 alla S9, ecc.");
- c) Categoria di produzione PC1, come prima.
- d) Con CC2, SC2 e PC1 dalla tabella C7.2 deriva questa volta una classe di esecuzione EXC3.

3) Edificio per uffici di 5 piani in zona notevolmente sismica, bullonato e in acciaio S355.

- a) Classe di conseguenza CC2 (cfr. la sottoclasse 2b della tabella 11.2 tratta dalle EN 1991-1-7, dove si parla esplicitamente di "edifici residenziali, uffici e hotel da 5 a 15 piani");

- b) Categoria di servizio SC2 (“Strutture e componenti con connessioni progettate per media o alta duttilità (DCM e DCH) in zone sismiche a media o alta sismicità”);
- c) Categoria di produzione PC1 (“Elementi strutturali non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio”).
- d) Con CC2, SC2 e PC1 dalla tabella C7.2 deriva una classe di esecuzione EXC3.

Sembra in sostanza che, per strutture usuali (edifici civili ed industriali non particolari), bullonate o saldate in S275, senza sisma e senza particolari fenomeni di fatica, la classe di esecuzione è generalmente la EXC2; per gli stessi edifici/strutture, se in zona sismica e/o soggetti a fatica, la classe è la EXC3. Ovviamente il Committente può richiedere una classe superiore alla minima individuata dalla norma.

Però il modo appena descritto di attribuire le classi di esecuzione è in corso di revisione. L’attribuzione verrà tolta dalle EN 1090-2 e verrà posta in una prossima edizione dell’Eurocodice 3 (EN 1993-1-1) nell’appendice C, tabella C.1, che riproduciamo come tabella C7.5.

Si è deciso di spostare l’attribuzione delle classi di esecuzione nell’EC3 perché è un compito che spetta al progettista, al quale l’EC3 è rivolto, e non al costruttore, al quale principalmente la EN 1090-2 è rivolta.

Ci sono un paio di novità nelle nuova tabella, come si può vedere.

1) Alle Classi di Conseguenze (CC) sono associate altrettante Classi di Affidabilità (RC). Cos’è l’affidabilità? Per una sua definizione bisogna andare sull’Eurocodice 0, cioè la UNI EN 1990 “Criteri generali di progettazione strutturale”. Qui l’affidabilità viene definita come la “*capacità di una struttura o di un elemento strutturale di soddisfare i requisiti specificati, inclusa la vita utile di progetto, per i quali è stata progettata. L’affidabilità è generalmente espressa in termini probabilistici*”. Si può dire che l’affidabilità è misurata dalla probabilità di una struttura di raggiungere (e superare), durante la sua vita utile, gli stati limite per i quali è progettata, sia di esercizio che ultimi. Tanto più bassa è questa probabilità, tanto più affidabile è una struttura. Insomma di una struttura non possiamo giurare che non andrà mai fuori servizio o peggio che non crollerà mai, possiamo però dire che la probabilità che ciò accada è molto bassa, e tenerla tanto più bassa quanto più pericolose sono le conseguenze di una suo eventuale malaugurato dissesto. E come si fa a definire la pericolosità delle conseguenze di un dissesto strutturale? Con le Classi di Conseguenze, che come detto prima sono definite nella EN 1990. Pertanto alla classe di conseguenze 2, che è quella standard, si associa, secondo la EN 1990, la classe di affidabilità 2, con probabilità di collasso di 10^{-4} . Alla classe di conseguenze 1, meno gravi, si può associare la classe di affidabilità 1, dove la probabilità di collasso può salire a circa 10^{-3} , mentre alla classe di conseguenze 3, più gravi, si associa la classe di affidabilità 3, con probabilità di collasso minore, 10^{-5} .

Ma come si può fare, secondo la EN 1990, a dare più o meno affidabilità alle strutture?

- a) Aumentando o diminuendo le azioni che agiscono sulla struttura (la EN 1990 definisce un coefficiente moltiplicativo dei carichi K_{FI} che vale, rispettivamente, 0,9 per la RC1, 1,0 per la RC2 e 1,1 per la RC3);
- b) Graduando il grado di sorveglianza del progetto (cioè in pratica una verifica indipendente dei calcoli): per la RC3 si prevede una supervisione al progetto da parte di una organizzazione terza parte, esterna all’organizzazione che lo ha fatto, per la RC2 una supervisione da parte di persona diversa da chi lo ha fatto ma interna alla stessa struttura, per la RC1 basta una revisione da parte dello stesso progettista;
- c) Graduando il livello di ispezione sulle attività realizzative: per la RC3 si fanno ispezioni di terza parte, per la RC2 ispezioni secondo le procedure interne dell’organizzazione, per la RC1 auto-ispezione.

Insomma la EN 1990 prefigura la possibilità di graduare l’affidabilità di una struttura, e quindi anche i costi, in funzione delle conseguenze di un fuori uso o collasso. C’è da dire che al momento le normative non differenziano i carichi in funzione dell’affidabilità, anche se il concetto è un po’ nella pelle dei progettisti i quali, a seconda della pericolosità, istintivamente prendono precauzioni sui carichi. E la maggiore severità delle verifiche indipendenti e della sorveglianza sulla realizzazione è sempre stata applicata a progettazioni delicate, quali ad esempio quelle delle centrali nucleari.

Ora, tornando alla tabella C7.5, l’aver fatto dipendere le classi di esecuzione dalle classi di affidabilità è concettualmente interessante, ma da un punto di vista pratico conviene sempre pensare alle classi di conseguenza, che sono più facili da attribuire.

2) la seconda novità è che sono state eliminate le Categorie di Produzione, perché un Costruttore qualificato ai sensi della 1090 deve essere in grado di produrre con lo stesso grado di affidabilità sia strutture bullonate che saldate, con qualsiasi dei materiali ammessi dalle norme.

Notiamo infine nella tabella C7.5 che si parla delle classi di duttilità come definite dall’Eurocodice 8, cioè duttilità bassa, DCL, per la quale non si applicano le regole del *capacity design* e si adotta un fattore di struttura

$q=1,5$, duttilità media, DCM, ed alta, DCH, per le quali invece si deve adottare il *capacity design* e in compenso si adotta $q > 1,5$.

Nelle NTC2008 esiste invece un comportamento elastico, cioè con $q=1$, per il quale non vale il *capacity design*, e poi due categorie di duttilità, bassa (DC" B") ed alta (DC" A") che corrispondono sostanzialmente alle DCM e DCH dell'EC8.

Quindi, passare da una progettazione per il sisma di tipo non duttile ad una che sfrutta la duttilità, produce senz'altro una diminuzione dei profili strutturali e quindi dei pesi, ma a patto non solo di una complicazione delle connessioni ma anche di un passaggio dalla classe di esecuzione EXC2 alla EXC3, con conseguenti oneri nella realizzazione.

Tabella C7.5 – Determinazione delle classi di esecuzione secondo EN 1993-1-1 (tab. C.1 Appendice C, in corso di emissione)

Classi di Affidabilità (RC) o Classi di Conseguenze (CC)	Tipo di carico	
	Quasi-statico e/o classe di duttilità sismica DCL (1)	Soggette a fatica (2) e/o classe di duttilità sismica DCM o DCH (1)
RC3 o CC3	EXC3(3)	EXC3(3)
RC2 o CC2	EXC2	EXC3
RC1 o CC1	EXC1	EXC2

(1) Classi di duttilità definite in EN 1998-1; DCL=bassa, DCM=media, DCH=alta.
(2) Vedi EN 1993-1-9.
(3) Per strutture nelle quali il superamento degli stati limite di servizio ed ultimi porti a conseguenze giudicate particolarmente onerose, può essere specificata la classe EXC4.

C8. Materiali

C8.1 Profilati e lamiera

Gli acciai che possono essere impiegati, lo dicono bene le NTC2008, sono gli "acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1, recanti la Marcatura CE".

In questa parte del Capitolato non dobbiamo fare altro che riaffermare quanto detto dalle norme. Accanto alle norme di prodotto sarà bene citare le norme che stabiliscono le *dimensioni* dei profilati e le *tolleranze di laminazione*, ad esempio la UNI 5397 "Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Travi HE ad ali larghe parallele. Dimensioni e tolleranze" e la UNI EN 10034 "Travi ad I e ad H di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma". Queste due norme hanno praticamente lo stesso titolo ma, come spiegato nella 10034, rimane valida la UNI 5397 per le dimensioni e la EN 10034 per le tolleranze dimensionali.

Oltre che sulle NTC2008, informazioni su norme di prodotto, norme dimensionali e norme per le tolleranze di laminazione, sia relativamente ai laminati a caldo che ai piegati a freddo si trovano nelle tabelle 2 e 3 nella UNI EN 1090-2, dalle quali abbiamo tratto la maggior parte delle informazioni per compilare le tabelle 8.1 e 8.2 della nostra proposta di Capitolato Tecnico.

Una prescrizione importante da aggiungere riguarda gli acciai da usare in elementi dissipativi di strutture progettate come duttili in zone sismiche (CD" B" e CD" A"). Per essi abbiamo precisato che "dovrà risultare dai documenti di controllo che accompagnano la fornitura il valore della tensione di snervamento massima $f_{y,max}$ dell'acciaio che non potrà superare il valore caratteristico di più del 20% ". Infatti quando si calcolano le strutture con le regole del *capacity design*, le parti dissipative devono snervarsi prima di quelle sovraresistenti, e perciò per esse è fondamentale conoscere il valore massimo assunto dalla tensione di snervamento. Questa prescrizione deriva da prescrizioni che si trovano sulle norme. Nelle NTC2008 al §11.3.4.9 si richiede appunto che la tensione di snervamento massima dell'acciaio da impiegare per gli elementi dissipativi non superi di più del 20% la tensione di snervamento caratteristica. Invece nell'Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1 §6.2) si fa riferimento ad una tensione massima dell'acciaio non superiore a $1,1\gamma_{ov}f_{yk}$. Poiché si consiglia per il parametro γ_{ov} il valore costante di 1,25, si ottiene quindi una resistenza massima $f_{y,max}$ superiore a quella caratteristica f_y di non più del 37,5%. E' chiaro che l'indicazione dell'Eurocodice 8 è più permissiva di quella delle nostre NTC. Poiché queste hanno valore di legge, in Italia dovrà adottarsi il limite riportato nella nostra proposta di Capitolato, mentre per forniture europee si potrà, seguendo gli Eurocodici, adottare il limite del 37,5%.

Nel §8.1 della nostra proposta di Capitolato abbiamo anche voluto sottolineare come spetti al Progettista non solo la scelta dell'acciaio in base alla tensione di snervamento, ma anche in base alla resilienza. Il Progettista deve cioè indicare il grado dell'acciaio: JR, J0, J2, K2, simboli che indicano una energia d'impatto minima di 27 J rispettivamente a +20°C, 0°C, -20°C e -30°C. Una scelta corretta della resilienza dell'acciaio mette al riparo da problemi di fragilità alle basse temperature, che si presentano con maggior frequenza in strutture esposte alle intemperie, saldate, con spessori alti e soggette prevalentemente a trazione. Nel testo del Capitolato diamo anche una indicazione pratica su come scegliere, in base allo stato di sforzo, alla temperatura e agli spessori massimi, il grado dell'acciaio: si ricorre al metodo esposto nel §2.2 della norma UNI EN 1993-1-10, alla cui lettura si rimanda chi fosse interessato. Nel testo del capitolato si cita in particolare la tabella 2.1 della norma UNI EN 1993-10 che si può impiegare allo scopo. Essa è però valida solo per elementi che siano anche parzialmente in trazione (quindi tesi, inflessi o in tensoflessione). Per elementi sempre compressi la norma afferma che non occorre limitare lo spessore massimo in funzione del grado dell'acciaio. Ma l'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-1-1) al §3.2.3(3) B afferma: "Si raccomanda che per componenti di edifici soggetti a compressione sia selezionata una tenacità minima"; e avanti al punto §3.2.3 Nota B, afferma: "L'appendice nazionale può fornire informazioni sulla selezione della tenacità per le membrature compresse. E' raccomandato l'utilizzo del prospetto 2.1 della EN 1993-1-10 per $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$ ". L'adozione della tabella 2.1 per gli elementi compressi così come raccomandato è poi confermato anche dagli annessi nazionali (vedi Appendice Nazionale Italiana alla norma UNI EN 1993-1-1, punto 3.2.3(3)B nota B). E' chiaro che questa scelta del grado dell'acciaio spetta al Progettista, che conosce lo stato di sforzo dei vari elementi strutturali della struttura, e non deve essere demandata all'Appaltatore che non ha appunto elementi tecnici per fare una scelta oculata.

Un altro aspetto sottolineato è la valutazione che il Progettista deve fare di possibili fenomeni di *lamellar tearing*. Come è noto, in un giunto a T o a croce il ritiro di saldatura determina delle trazioni attraverso lo spessore della lamiera sulla quale ci si è saldati. Le proprietà meccaniche in direzione dello spessore sono spesso inferiori a quelle nel senso della lamiera, che è il senso di laminazione, e ciò può portare a strappi del materiale noti come *lamellar tearing*. Il rischio dipende dagli spessori in gioco, dal tipo e dall'estensione della saldatura e dalla sua posizione, dalla possibilità o meno della lamiera di deformarsi consentendo anche parzialmente il ritiro (in giunti a T il ritiro è possibile, in altri giunti la geometria della struttura lo impedisce), dall'eventuale preriscaldamento effettuato (che giova a ridurre il pericolo). Possono essere prodotti acciai aventi, in direzione dello spessore, caratteristiche tali da ridurre il pericolo di strappi lamellari. Un parametro che dà una misura della migliorata resistenza è il restringimento dell'area di provini in prove di trazione effettuate in senso trasversale allo spessore: maggiore è il restringimento percentuale Z , migliore è la resistenza, a parità di altre condizioni, al *lamellar tearing*. La UNI EN 10164 "Acciai con caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto - Condizioni tecniche di fornitura" dà i criteri per valutare Z ed individua 3 categorie, Z15, Z25 e Z35, corrispondenti ad una riduzione percentuale media della sezione trasversale rispettivamente del 15%, 25% e 35%. Gli acciai che hanno tali caratteristiche saranno individuati dalla sigla "Z15" o "Z25" o infine "Z35" nel loro nome, in aggiunta alle altre denominazioni. Bisogna adesso individuare il valore di Z_{Ed} richiesto in rapporto alle reali condizioni del giunto in esame e verificare che:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$$

Dove Z_{Rd} è uno dei valori dati dalla UNI EN 10614, e invece Z_{Ed} è il valore di progetto richiesto, che si calcola, secondo UNI EN 1993-1-10, come:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

Il valore dei vari addendi della formula precedente che contribuiscono a formare il valore Z_{Ed} si ricava dalla tabella 3.2 sempre della UNI EN 1993-1-10. Un piccolo esempio di calcolo si trova in [11], §1.5. Si va poi sull'EC3 (UNI EN 1993-1-1) che suggerisce, a fronte del valore calcolato di Z_{Ed} , l'accoppiamento con i valori di Z dati dalla UNI EN 10614 secondo il seguente prospetto (tratto dalla tabella 3.2 di EC3):

Z_{Ed} calcolato secondo UNI EN 1993-1-10	Valore di Z_{Rd} richiesto espresso in termini di valori Z dati da UNI EN 10614
$Z_{Ed} \leq 10$	Nessun valore richiesto
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z25
$Z_{Ed} > 30$	Z35

Il Progettista, in alternativa o in aggiunta alla scelta di un acciaio con caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto, può prescrivere controlli ultrasonici nelle lamiere dei giunti a T o a croce dove *il lamellar tearing* potrebbe verificarsi. La specifica BCSA [3] indica in una tabella, che riproduciamo qui di seguito, quali giunti possono considerarsi ad alto rischio:

	Saldatura a completa penetrazione con spessore del/dei piatto/i saldato/i maggiore di:	Saldatura a cordoni d'angolo, con altezza di gola massima maggiore di:
Giunti a T	35 mm	35 mm
Giunti a croce	25 mm	25 mm

Infine, è opportuno che il Progettista dia delle indicazioni circa il tipo di acciaio da impiegare per strutture da zincare a caldo.

Praticamente tutti gli acciai comunemente usati sono zincabili a caldo, però per alcuni di essi il rivestimento invece di una colorazione uniforme e brillante può assumerne una più scura e non omogenea, ed inoltre è possibile che lo spessore del rivestimento risulti eccessivo, col che diventa più probabile che l'elemento strutturale subisca danneggiamenti in seguito ad urti durante le operazioni di movimentazione stoccaggio e montaggio. Si tratta quindi di un fatto quasi esclusivamente estetico, perché in ogni caso le caratteristiche di protezione dalla corrosione non mutano.

Il diverso comportamento dell'acciaio dipende dal contenuto di silicio (Si) e di fosforo (P). Come si può vedere da figura C8.1, che riproduce una tabella della norma sulla zincatura UNI EN ISO 14713-2, gli acciai che danno luogo al rivestimento con migliori caratteristiche estetiche sono quelli con $Si \leq 0,04\%$ e $P < 0,02\%$, oppure con percentuale di Si compresa tra 0,14% e 0,25%. Se il Si è tra 0,04% e 0,14% oppure supera lo 0,25% si hanno i risultati peggiori. Da ciò la prescrizione di usare preferibilmente acciai delle categorie A e B secondo UNI EN ISO 14713-2.

prospetto 1 **Caratteristiche del rivestimento relative alla composizione dell'acciaio**

Categoria	Livelli tipici di elementi reattivi	Informazioni supplementari	Caratteristiche tipiche del rivestimento
A	$\leq 0,04\% \text{ Si e } < 0,02\% \text{ P}$	Vedere nota 1.	Il rivestimento ha un aspetto lucido con una tessitura più fine. La struttura del rivestimento include lo strato esterno di zinco.
B	Da 0,14% Si a 0,25% Si	La lega Fe/Zn può estendersi attraverso la superficie del rivestimento. Lo spessore del rivestimento aumenta con l'aumento del contenuto di silicio. Altri elementi possono influenzare la reattività dell'acciaio. In particolare, livelli di fosforo maggiori dello 0,035% determinano una maggiore reattività.	
C	Da $> 0,04\% \text{ Si a } \leq 0,14\% \text{ Si}$	Si possono formare rivestimenti eccessivamente spessi.	Il rivestimento ha un aspetto più scuro con una tessitura più grossolana. Le leghe di ferro/zinco dominano la struttura del rivestimento e spesso si estendono alla superficie del rivestimento, con una resistenza ridotta ai danni da movimentazione.
D	$> 0,25\% \text{ Si}$	Lo spessore del rivestimento aumenta con l'aumento del contenuto di silicio.	
<p>Nota 1 Anche gli acciai con composizioni che soddisfano la formula $\text{Si} + 2,5\text{P} \leq 0,09\%$ possono presentare queste caratteristiche. Per gli acciai laminati a freddo, si prevede che queste caratteristiche siano osservate quando la composizione dell'acciaio soddisfa la formula $\text{Si} + 2,5\text{P} \leq 0,04\%$.</p> <p>Nota 2 La presenza di elementi leganti (per esempio nichel) nella fusione di zinco può avere un effetto significativo sulle caratteristiche del rivestimento indicate nel presente prospetto. Questo prospetto non fornisce una guida per la zincatura ad alta temperatura (cioè immersione in zinco fuso a una temperatura compresa fra 530 °C e 560 °C).</p> <p>Nota 3 Le composizioni dell'acciaio indicate in questo prospetto varieranno sotto l'influenza di altri fattori e varieranno di conseguenza anche i limiti di ogni gamma.</p>			

Figura C8.1 – Scelta degli acciai zincabili secondo UNI EN ISO 14713-2

C8.2 Bulloni non precaricati

Per i bulloni da impiegare a taglio sono state indicate le norme alle quali far riferimento, cioè sostanzialmente la UNI EN 15048-1. Essa fa riferimento poi alle altre norme necessarie per definire compiutamente questi bulloni. Per completezza abbiamo preferito citarle tutte.

Da notare che le indicazioni sulle NTC2008 non sono aggiornate a queste norme.

Abbiamo poi introdotto i bulloni 4.8 e 5.8 che sono mancanti nelle NTC2008 ma presenti nella EN 1090-2.

Abbiamo infine riportato (tabella 8.2.1) l'accoppiamento vite-dado-rondella, riprendendo sostanzialmente la tabella 6 della UNI EN 15048-1, che risulta più completa delle indicazioni delle NTC2008.

E' possibile usare bulloni a taglio interamente filettati?

Questa è una domanda che alcuni progettisti si fanno. Chi calcola è abituato a considerare bulloni con il gambo parzialmente filettato, ma a volte dall'officina arriva la richiesta di usare bulloni col gambo interamente filettato. E' lecito secondo la normativa?

Le norme che regolano le dimensioni del gambo dei bulloni e quindi anche la filettatura, sono le seguenti:

UNI EN ISO 4014 "Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Cat. A e B"

UNI EN ISO 4016 "Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Cat. C"

UNI EN ISO 4017 "Viti a testa esagonale con gambo interamente filettato - Cat. A e B"

UNI EN ISO 4018 "Viti a testa esagonale con gambo interamente filettato - Cat. C"

Quindi le ISO 4014 e 4016 individuano quelli parzialmente filettati, le 4017 e 4018 quelli totalmente filettati.

Le categorie A, B e C sono categorie di tolleranze, più stretta la A, più larga la C.

Se si guarda alle NTC2008, si trova al §11.3.4.6.1 (Bulloni) la seguente frase: "I bulloni conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002.. [...]".

Quindi, avendo citato la 4016 e non la 4018, sembrerebbe che la norma indichi, un po' indirettamente, l'uso dei soli bulloni parzialmente filettati.

Se si va invece a guardare la specifica inglese [3] si trova la tabella 2.4 riportata in figura C8.2. Da essa si vede che sono ammessi come bulloni al taglio sia quelli con il gambo parzialmente filettato che quelli con il gambo totalmente filettato. E se si cerca tra le numerose e molto ben fatte pubblicazioni della BCSA, si capisce anche il perché di questa scelta. Infatti nel volume BCSA-SCI [9] è detto:

"La pratica comune nel passato è stata quella di usare bulloni con un breve tratto filettato, cioè 1,5d, e specificarli in termini di incrementi di lunghezza di 5mm. Ciò può portare ad un enorme numero di bulloni di lunghezza differente, che è costoso da gestire e rallenta i montaggi.

Un buon numero di costruttori fa ora uso di bulloni interamente filettati che, poiché è possibile prevederli in lunghezza maggiore del necessario, hanno la caratteristica di ridurre drasticamente il numero di lunghezze di bulloni specificate. Un solo bullone, l'M20 x 60mm di lunghezza e grado 8.8 è stato riconosciuto riuscire a coprire il 90% delle connessioni a taglio di un edificio multipiano".

Quindi l'uso di bulloni al taglio interamente filettati semplifica sia la costruzione che il montaggio, rendendo entrambi più veloci ed economici. E' chiaro che il progettista deve sapere di questa scelta, perché deve calcolare i bulloni utilizzando l'area di nocciolo e non l'area lorda. Pertanto nella nostra proposta di capitolato abbiamo lasciato la possibilità di usare tutti e due i tipi di bulloni, con l'obbligo di renderne edotto il progettista il quale, per prudenza, dovrebbe calcolarli sempre come se fossero interamente filettati.

TABLE 2.4 MATCHING ORDINARY ASSEMBLIES

Property Class	Bolt	Nut (1)	Washer
Incorporating full threaded length bolts			
4.6	BS EN ISO 4018	BS EN ISO 4034 (Class 4) ⁽³⁾⁽⁴⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
8.8	BS EN ISO 4017 ⁽²⁾	BS EN ISO 4032 ⁽²⁾ (Class 8) ⁽⁵⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
10.9	BS EN ISO 4017 ⁽²⁾	BS EN ISO 4032 ⁽²⁾ (Class 10) ⁽⁶⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
Incorporating part threaded length bolts			
4.6	BS EN ISO 4016	BS EN ISO 4034 (Class 4) ⁽³⁾⁽⁴⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
8.8	BS EN ISO 4014 ⁽²⁾	BS EN ISO 4032 ⁽²⁾ (Class 8) ⁽⁵⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
10.9	BS EN ISO 4014 ⁽²⁾	BS EN ISO 4032 ⁽²⁾ (Class 10) ⁽⁶⁾	BS EN ISO 7091 (100HV)
<p>(1) Nuts of a higher property class may also be used.</p> <p>(2) Bolts to the property classes 8.8 and 10.9 of BS EN ISO 4014 or BS EN ISO 4017 (dimensions and tolerances of BS EN ISO 4016 or BS EN ISO 4018) may also be used, with matching nuts to the property classes of BS EN ISO 4032 (dimensions and tolerances of BS EN ISO 4034).</p> <p>(3) Property class 5 nuts for size M16 and smaller.</p> <p>(4) Nuts for galvanized or sherardized 4.6 bolts shall be class 8.</p> <p>(5) Nuts for galvanized or sherardized 8.8 bolts shall be class 10.</p> <p>(6) Nuts for galvanized or sherardized 10.9 bolts shall be class 12 to BS EN ISO 4033.</p>			

Figura C8.2 – Normative per bulloni a taglio secondo la specifica BCSA "National Structural Steelwork Specification for Building Construction" 5th Ed.

C8.3 Bulloni precaricati

Anche qui abbiamo semplicemente citato le norme di riferimento (UNI EN 14399 nelle sue varie parti). Tali norme sono citate correttamente nella Circolare [7], ma non nelle NTC2008 (evidentemente la 14399 è uscita dopo l'emissione delle norme tecniche).

Seguendo le UNI EN 1090-2, sono stati considerati i bulloni del tipo HR ed HV, quelli che tipicamente si serrano con chiave dinamometrica (figura C8.3.1). E' stato indicato il possibile uso con gli stessi di rondelle con indicazione di carico, il che elimina la necessità del serraggio controllato (figura C8.3.2). Si sono infine considerati i bulloni del tipo HRC con serraggio calibrato, da serrare con apposita pistola coassiale sino alla rottura dell'apposito prolungamento del gambo (figura C8.3.3). Da notare che, a causa delle notevoli dimensioni della pistola coassiale, il progettista deve stabilire la opportuna posizione dei giunti bullonati in modo che vi siano gli spazi sufficienti per il serraggio. Quindi l'uso eventuale di bulloni tipo HRC dovrebbe essere noto al progettista in fase di progettazione.

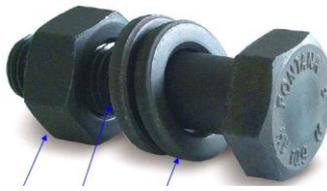


Figura C8.3.1 – Bulloni tipo HR o HV.

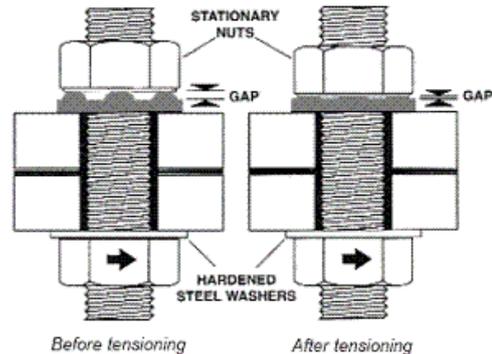


Figura C8.3.2 – Rondelle con indicazione di carico



Figura C8.3.3 – Bulloni tipo HRC e pistola per il serraggio.

Abbiamo aggiunto qualche prescrizione circa i trattamenti protettivi per i bulloni, che possono essere zincati a freddo (più comunemente) o a caldo (con centrifugazione), ma escludendo nel processo a caldo i bulloni 10.9 che potrebbero infragilirsi. Nella UNI EN 1090-2 questo divieto di zincare a caldo i 10.9 non c'è, è presente solo un richiamo al rischio di infragilimento, ma è più prudente escludere questo trattamento per i 10.9. Abbiamo escluso altresì trattamenti diversi dalla zincatura, più economici, come la brunitura, perché i risultati non sono molto soddisfacenti.

C8.4 Tirafondi

Qui, accanto agli acciai definiti dalla UNI EN 10025, abbiamo indicato anche quelli della UNI EN ISO 898-1, cioè gli acciai usati per i bulloni, come concesso dalla UNI EN 1090-2 al §5.6.7., dall'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-1-8 §3.3) e dalle normative inglesi. La BS 5950-2:2001 ed anche la specifica della BCSA [3] indicano come materiale per i tirafondi il 4.6 e l'8.8, e tutti i manuali di progettazioni della BCSA riportano dettagli con tirafondi realizzati con questi materiali.

Però gli acciai per bulloni (l'8.8 almeno) risultano in genere meno duttili di quelli della 10025, perciò abbiamo ritenuto prudente non raccomandare l'uso di tali acciai per i tirafondi di strutture calcolate come dissipative da un punto di vista sismico.

C8.5 Lamiere grecate

Per lamiere grecate, grigliati, lamiere striate o bugnate e connettori al taglio non si fa altro che citare le norme pertinenti.

C8.6 Grigliati metallici e lamiere striate o bugnate

Per lamiere grecate, grigliati, lamiere striate o bugnate e connettori al taglio non si fa altro che citare le norme pertinenti.

C8.7 Connettori per il taglio

Per lamiere grecate, grigliati, lamiere striate o bugnate e connettori al taglio non si fa altro che citare le norme pertinenti.

C9. Lavorazioni d'officina

C9.1 Identificazione, documenti d'ispezione e tracciabilità dei prodotti

Si vogliono qui sottolineare gli importanti concetti, espressi nelle NTC al §11, relativi ai materiali i quali devono essere identificati, qualificati secondo le opportune procedure e resi tracciabili nel modo più opportuno nel corso dell'iter che va dall'approvvigionamento al montaggio.

Ricordiamo che gli acciai che si possono usare sono quelli marcati CE, e che i tipi di controllo interno che il Produttore deve effettuare sono stabiliti dalla norma UNI EN 10204 dove sono sintetizzati nel prospetto A1 che riproduciamo in figura C9.1.

prospetto A.1 Riepilogo dei documenti di controllo

EN 10204 Riferimento	Designazione del tipo di documento				Contenuto del documento	Documento validato da
	Versione italiana	Versione inglese	Versione tedesca	Versione francese		
Tipo 2.1	Dichiarazione di conformità all'ordine	Declaration of compliance with the order	Werksbescheinigung	Attestation de conformité à la commande	Dichiarazione di conformità all'ordine	Fabbricante
Tipo 2.2	Rapporto di prova	Test report	Werkszeugnis	Relevé de contrôle	Dichiarazione di conformità all'ordine, con indicazione dei risultati del controllo non specifico	Fabbricante
Tipo 3.1	Certificato di controllo 3.1	Inspection certificate 3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Certificat de réception 3.1	Dichiarazione di conformità all'ordine, con indicazione dei risultati del controllo specifico	Rappresentante del fabbricante autorizzato per il controllo, indipendente dal reparto di fabbricazione
Tipo 3.2	Certificato di controllo 3.2	Inspection certificate 3.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.2	Certificat de réception 3.2	Dichiarazione di conformità all'ordine, con indicazione dei risultati del controllo specifico	Rappresentante del fabbricante autorizzato per il controllo, indipendente dal reparto di fabbricazione e, congiuntamente, rappresentante del committente autorizzato per il controllo o ispettore designato dai regolamenti ufficiali

Figura C9.1 – Documenti di controllo secondo UNI EN 10204

Il certificato di tipo 2.1 è un documento in cui il Produttore dichiara che i prodotti forniti sono conformi ai requisiti dell'ordine, senza indicare alcun risultato di prova.

Il certificato di tipo 2.2 è un documento in cui il Produttore dichiara che i prodotti forniti sono conformi ai requisiti dell'ordine e nel quale fornisce risultati di prova basati su controllo non specifico, cioè su analisi chimiche e prove meccaniche di controllo della propria fornitura, ma che non riguardano la colata alla quale il materiale fornito appartiene.

Il certificato di tipo 3.1 è come quello di tipo 2.2, ma con la differenza che il controllo è specifico, cioè relativo proprio alla colata da cui il materiale fornito proviene.

Il certificato di tipo 3.2 è come quello 3.1 ma con la differenza che è prodotto con la presenza di un rappresentante del Cliente o ispettore a tale scopo designato.

Di quale tipo di certificato c'è bisogno? Le UNI EN 1090-2 lo dicono al §5.2 tabella 1, che riproduciamo in figura C9.2.

Table 1 — Inspection documents for metallic products

Constituent product	Inspection documents
Structural steels (Tables 2 and 3)	according to Table B.1 of EN 10025-1:2004 ^{a,b}
Stainless steels (Table 4)	3.1
Steel castings	according to Table B.1 of EN 10340:2007
Welding consumables (Table 5)	2.2
Structural bolting assemblies	2.1 ^c
Hot rivets	2.1 ^c
Self-tapping and self-drilling screws and blind rivets	2.1
Studs for arc studs welding	2.1 ^c
Expansion joints for bridges	3.1
High strength cables	3.1
Structural bearings	3.1
^a For structural steel grade S355 JR or J0 inspection document 3.1 is required for EXC2, EXC3 and EXC4. ^b EN 10025-1 requires that the elements included in the CEV formula shall be reported in the inspection document. The reporting of other added elements required by EN 10025-2 should include Al, Nb, and Ti. ^c If a 3.1 certificate is required, this may be substituted by a manufacturing lot identification mark.	

Figura C9.2 – Documenti di controllo per gli acciai secondo EN 1090-2

Come si vede, le 1090 rimandano, per gli acciai strutturali, alla tabella B.1 della UNI EN 10025-1 che riproduciamo in figura C9.3.

Table B.1 — Type of inspection document

Requirement	Inspection document
Specified minimum yield strength for the thinnest thickness range $\leq 355 \text{ MPa}^a$ and a specified impact energy tested at a temperature of $0 \text{ }^\circ\text{C}$ or $20 \text{ }^\circ\text{C}$	2.2
Specified minimum yield strength for the thinnest thickness range $\leq 355 \text{ MPa}^a$ and a specified impact energy tested at a temperature less than $0 \text{ }^\circ\text{C}$	3.1 ^b or 3.2 ^c
Specified minimum yield strength for the thinnest thickness range $> 355 \text{ MPa}^a$	3.1 ^b or 3.2 ^c
^a $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$. ^b Inspection document type 3.1 replaces in EN 10204:2004 type 3.1.B of EN 10204:1991. ^c Inspection document type 3.2 replaces in EN 10204:2004 type 3.1.C of EN 10204:1991.	

Figura C9.3 – Documenti di controllo per gli acciai secondo EN 10025-1

Secondo la UNI EN 10025-1 dunque, è richiesto il certificato tipo 2.2 (con controlli non specifici) per acciai con $f_y \leq 355 \text{ N/mm}^2$ tipo JR e J0, mentre è necessario il certificato 3.1 (con controlli specifici) per tutti gli altri acciai strutturali. La stessa cosa chiedono per i tubi le norme UNI EN 10210-1 e UNI EN 10219-1. Nella nota

alla tabella 1 della UNI EN 1090-2 però, viene chiesto il certificato 3.1 anche per gli acciai con $f_y = 355$ N/mm² JR o J0 purché in classe di esecuzione EXC2, EXC3 o EXC4.

Questo le varie norme. Sulle NTC2008 non c'è una indicazione specifica, mentre sulla specifica della BCSA [3] sono richiesti certificati 3.1 per tutti gli acciai. Ed è quest'ultima scelta che nella nostra proposta di Capitolato abbiamo fatto, perché la si ritiene più affidabile.

Circa la tracciabilità, cioè la possibilità di identificare ciascun componente e di legarlo ai certificati corrispondenti in ogni fase delle lavorazioni, abbiamo scritto che è obbligatoria per le classi di esecuzione EXC3 ed EXC4 (seguendo in ciò quanto richiesto dalla EN 1090-2 al §6.2).

Anche la specifica BCSA [3], sia in versione compatibile con la marcatura CE che in versione originale, richiede che tutti gli elementi siano associati ad un certificato in ingresso nello stabilimento, che per gli acciai è obbligatoriamente di tipo 3.1, ma non viene richiesta la tracciabilità durante le fasi di lavorazione (insomma, se entrano solo HEA 180 con certificato, le diverse travi o colonne ricavate da questi profilato sono sicuramente qualificate anche se non so da quale dei profilati che ho in officina provengono). La specifica inglese cioè prescrive per tutti i materiali il livello di tracciabilità che la 1090 richiede per la classe EXC2. Ciò è coerente, perché nella versione compatibile con la marcatura CE è detto che la specifica vale solamente per la classe di esecuzione EXC2.

Abbiamo poi sottolineato che per i componenti da usare come elementi dissipativi nelle strutture calcolate coi criteri del *capacity design*, la tracciabilità deve essere totale. Per questi componenti infatti, che possono essere aste di controvento in strutture controventate a "X" o a "V" rovescio, oppure travi in strutture intelaiate o infine travi che contengono il *link* in strutture con controventi eccentrici, è molto importante che sia nota la tensione di snervamento massima dell'acciaio, in quanto essi devono snervarsi prima dei componenti sovraresistenti che compongono la stessa struttura (i limiti massimi della tensione di snervamento da rispettare sono stati fissati al §8.1). Questa precisazione è un po' un pleonasma, poiché le strutture dissipative rientrano in classe EXC3, ma lo si vuole sottolineare proprio per gli elementi dissipativi, vista la grande importanza della cosa (per quelli sovraresistenti appartenenti alle stesse strutture conoscere la tensione di snervamento massima non è importante).

C9.2 Marcatura delle strutture

La marcatura degli elementi strutturali è importante sia per poterli eventualmente legare ai profilati o lamiere dai quali provengono ed ai relativi certificati 3.1, sia ovviamente per poterli individuare nei disegni di assieme e di montaggio.

C9.3 Movimentazione e stoccaggio

Sono argomenti per i quali basterebbe dire: "Vale quanto riportato sulla UNI EN 1090-2". Abbiamo preferito citare direttamente i punti salienti della norma, per completezza.

C9.4 Taglio

Vale quanto detto al §C9.3.

C9.5 Formatura

Vale quanto detto al §C9.3.

C9.6 Forature

Vale anche qui quanto detto al §C9.3

C'è un discorso però di cui vale la pena parlare perché ha una ricaduta diretta sulla progettazione: il gioco foro-bullone.

La prescrizione dei giochi foro-bullone secondo le NTC2008 (§4.2.8.1.1) è la seguente:

"I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato di 1 mm fino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro maggiore di 20 mm."

Le analoghe prescrizioni delle UNI EN 1090-2 risultano meno restrittive e sono riportate in tabella C9.1.

Tabella C9.1 – Giochi foro-bullone – Valori in [mm] (da Tabella 11 di UNI EN 1090-2)

Diametro nominale del bullone d [mm]	12	14	16	18	20	22	24	27 e oltre
Fori normali	1	2						3
Fori maggiorati	3	4				6	8	
Asole corte	4	6				8	10	
Asole lunghe	1,5 d							

Inoltre le EN 1090-2 consentono l'impiego di fori maggiorati ed asole, non previsti dalle NTC2008.

Le NTC2008 consentono tuttavia l'impiego di giochi foro-bullone maggiori di quelli prescritti. Continuando infatti a leggere il §4.2.8.1.1 si trova:

“I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato di 1 mm fino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro maggiore di 20 mm. Si può derogare da tali limiti quando eventuali assestamenti sotto i carichi di servizio non comportino il superamento dei limiti di deformabilità e di servizio”.

Allora possiamo dire che giochi foro-bullone maggiori risultano accettabili, ad esempio in:

- Connessioni a taglio di travi appoggiate (dove sono addirittura benefici, perché migliorano la capacità di rotazione);
- Capriate reticolari (con adeguata contromonta che tenga conto della maggiore deformabilità anelastica dovuta al gioco foro-bullone).

In questi casi quindi si possono adottare i valori previsti dalle EN 1090-2.

Ma in altri casi giochi maggiori potrebbero creare eccessive deformazioni, ad esempio in giunti trave-trave e colonna-colonna con coprigiunti (portali, baionette di colonne, etc.) realizzati con bulloni a taglio. In questo caso quindi sarebbe preferibile non adottare i valori previsti dalle EN 1090-2, o (meglio) ricorrere a bulloni ad attrito.

Perciò nel testo del Capitolato abbiamo preferito mettere i giochi previsti dalle norme ma consentire quelli maggiorati, se lo si concorda con il Progettista ed il Direttore Lavori.

Si è infine voluto sottolineare che, se le forature sono eseguite in un centro servizi, la loro corretta esecuzione in termini di giochi e di tolleranze, è comunque responsabilità dell'Appaltatore, e perciò si chiede l'evidenza documentata dei controlli su tali forature.

C9.7 Assemblaggio e premontaggi

Per strutture di una certa complessità la montabilità è garantita dall'esecuzione di premontaggi in officina di parti di struttura. E' sembrato importante prevederlo, su richiesta del Direttore dei Lavori, in modo da dare a questi una copertura contrattuale per eventuali richieste di questo genere che appaiono spesso fastidiose agli Appaltatori.

Nel caso che l'Appaltatore si limiti alla fornitura ed il montaggio sia affidato ad altri, gli si chiede l'evidenza scritta di controlli dimensionali che garantiscano la montabilità delle strutture, per evitare palleggiamenti di responsabilità tra Costruttore e Montatore nel caso che non tutto sia stato fatto a regola d'arte.

C10. Saldatura

La saldatura è certamente la lavorazione più importante ed anche la più critica, da tenere sotto controllo. Molto si trova nelle NTC e nelle UNI EN 1090-2. Nella stesura del nostro Capitolato ci rifacciamo alle 1090, ma dove ci sono differenze tra questa norma e le NTC (cosa che accade raramente, per la verità), diamo ovviamente precedenza a quelle che per noi hanno valore di legge.

Gli aspetti della saldatura di cui bisogna parlare stendendo un Capitolato sono soprattutto i seguenti:

- Qualifica dei procedimenti di saldatura e dei saldatori;
- Qualifica del livello di qualità dell'officina e del livello tecnico del personale di coordinamento delle saldature;
- Controlli non distruttivi sulle saldature;
- Accettabilità delle saldature.

C10.1 Generalità

Per quanto riguarda la qualifica del livello di qualità dell'officina e del personale di coordinamento delle saldature, c'è differenza tra NTC e 1090-2. Entrambe le norme prescrivono ai Costruttori che prefabbricano strutture mediante saldatura dei requisiti minimi di qualità, in accordo alle parti 2, 3 o 4 della norma UNI EN ISO 3834. La parte 4 prescrive requisiti elementari, la 3 requisiti medi, la 2 infine requisiti estesi o completi. Gli argomenti trattati, per dare un'idea, sono: Riesame dei requisiti e riesame tecnico, Subfornitura, Personale di saldatura, Personale addetto a ispezioni e prove, Attrezzature, Saldatura e attività connesse, Materiali di apporto, Immagazzinamento dei materiali di base, Trattamento termico dopo saldatura, Ispezioni e prove, Non conformità e azioni correttive, Taratura di attrezzature, Rintracciabilità, Documenti di attestazione della qualità. Come si intuisce, si coprono tutti gli aspetti del processo di saldatura, e per ciascuno di essi si danno requisiti più severi passando dalla ISO 3834-4 alla 3834-2. Le NTC legano la scelta del livello qualitativo al tipo di acciaio, agli spessori in gioco e all'assoggettamento o meno a fenomeni di fatica negli elementi da saldare. Le prescrizioni sono riassunte nella tabella 11.3.XI, che riproduciamo nella tabella C10.1.

Tabella C10.1 - Requisiti di qualità per le Carpenterie secondo le NTC2008

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica
	A	B	C	
Riferimento				D
Materiale Base: Spessore minimo	S235, $s \leq 30$ mm S275, $s \leq 30$ mm	S235 S275 S355, $s \leq 30$ mm	S235 S275 S355 S460, $s \leq 30$ mm	S235 S275 S355 S460 ⁽¹⁾
Livello dei requisiti di qualità secondo UNI EN ISO 3834	Elementare EN ISO 3834-4	Medio EN ISO 3834-3	Medio EN ISO 3834-3	Completo EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di coordinamento delle saldature, secondo UNI EN 719	Di base	Specifico	Completo	Completo

(¹) Vale anche per strutture soggette a fatica in modo non significativo

La UNI EN 1090-2 fissa anche lei il principio per cui, a seconda del tipo di struttura, i Costruttori devono avere livelli di qualità nel loro lavoro definiti dalle varie parti della UNI EN ISO 3834, ma lega la scelta del livello alla classe di esecuzione delle strutture. La scelta della classe della ISO 3834 in funzione della classe di esecuzione è riportata al §7.1 della EN 1090-2, e sintetizzata nella tabella C10.2.

Tabella C10.2 - Scelta dei requisiti di qualità secondo UNI EN 1090-2

Classe di esecuzione secondo UNI EN 1090-2	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
Requisiti di qualità del Costruttore secondo UNI EN ISO 3834	Elementare ISO 3834-4	Medio EN ISO 3834-3	Esteso EN ISO 3834-2	Esteso EN ISO 3834-2

Delle due formulazioni abbiamo scelto per il nostro Capitolato quella della 1090-2 (vedi tabella 10.1.1 del Capitolato, uguale a tabella C10.2), perché è sostanzialmente equivalente a quella delle NTC ma è legata al concetto di classe di esecuzione, che ci pare opportuno mantenere.

Circa il livello di conoscenza tecnica del personale di coordinamento della saldatura, le NTC lo legano alla norma UNI EN 719 (vedi tabella C10.1). Ma tale norma, successivamente all'emissione delle NTC, è stata ritirata e sostituita dalla UNI EN ISO 14731. La UNI EN 1090-2 fa correttamente riferimento a questa norma,

così abbiamo preso al riguardo le prescrizioni della norma europea che non mostriamo qui perché sono riportate nel nostro Capitolato in tabella 10.1.2.

Per la qualifica dei procedimenti sono stati riportati i riferimenti normativi che si trovano sia sulle NTC che sulla 1090-2.

C10.2 Qualifica dei saldatori

Anche per la qualifica di saldatori e procedimenti c'è poco da dire: sono stati anche qui riportati i riferimenti normativi che si trovano sia sulle NTC che sulla 1090-2.

C10.3 Preparazione dei lembi

Riguardo la preparazione dei lembi da saldare, abbiamo citato, come fonte di dettagli, le norme UNI EN ISO 9692-1 e 9692-2. Le NTC citano le stesse norme. Abbiamo aggiunto però, per i cianfrini di lamiera di spessore maggiore od uguale a 40 mm, il controllo magnetoscopico (preferenziale) o con liquidi penetranti (alternativo) da eseguire sull'intero sviluppo dei bordi. Questa è una prescrizione di buona pratica, che in genere viene eseguita e che perciò è bene mettere in un Capitolato.

C10.4 Materiali di consumo

Nessun commento particolare.

C10.5 Controlli non distruttivi

Sul tipo dei controlli si dice al §10.5 della nostra proposta di Capitolato, e sono indicazioni che si trovano anche nelle NTC, perciò non occorre che facciamo qui commenti. Le differenze con le norme le abbiamo invece circa l'estensione dei controlli.

Le NTC (cfr. §11.3.4.5) infatti prescrivono che *“l'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, saranno definiti dal Collaudatore e dal Direttore dei lavori”*.

La UNI EN 1090-2, in aggiunta al controllo visivo al 100%, fissa invece una estensione di controlli non distruttivi, in funzione delle classi di esecuzione e del tipo di saldatura, che non varia per saldature eseguite in officina e saldature eseguite in opera, e che riproduciamo in tabella C10.3.

La specifica BCSA [3], nella sua 5a edizione e nella versione che non tiene conto della marcatura CE, fornisce anch'essa una serie di controlli, distinti tra saldature in officina e saldature in opera, che riproduciamo in tabella C10.4.

La stessa specifica BCSA di cui sopra, sempre nella 5a edizione ma nella versione che tiene conto della marcatura CE, propone invece i controlli riportati in tabella C10.5, di entità paragonabile a quelli proposti dalla EN 1090-2 per le strutture di classe EXC2. Ciò è coerente con gli scopi del documento, che è valido esclusivamente per strutture appunto di classe di esecuzione EXC2, e non è applicabile a strutture di classi maggiori, cioè non è applicabile a strutture soggette a fatica e/o a sisma.

Tabella C10.3 - Controlli sulle saldature secondo UNI EN 1090-2 (da Tabella 24 della norma)

Tipo di saldatura	Classe di esecuzione		
	EXC2	EXC3	EXC4
Saldature trasversali a completa penetrazione e a parziale penetrazione in giunti testa a testa soggetti a sforzo di trazione, con: $U \geq 0,5$ $U \leq 0,5$	10% 0%	20% 10%	100% 50%
Saldature trasversali a completa penetrazione e a parziale penetrazione: In giunti a croce In giunti a T	10% 0%	20% 10%	100% 50%
Saldature trasversali a cordoni d'angolo in trazione e/o taglio: $a \geq 12 \text{ mm}$ oppure $t > 20 \text{ mm}$ $a \leq 12 \text{ mm}$ oppure $t \leq 20 \text{ mm}$	5% 0%	10% 5%	20% 10%
Saldature longitudinali a completa penetrazione tra anima e ala superiore delle vie di corsa	10%	20%	100%
Altre saldature longitudinali e saldature di piatti di irrigidimento	0%	5%	10%
NOTE: Le saldature longitudinali sono quelle parallele all'asse del componente. Tutte le altre devono essere considerate trasversali. U = fattore di utilizzazione per azioni quasi-statiche. $U = E_d / R_d$, dove E_d è l'azione maggiore agente sulla saldatura, R_d è la resistenza della saldatura allo SLU a = altezza di gola della saldatura; t = il maggiore degli spessori da saldare			

Tabella C10.4 - Controlli sulle saldature secondo la specifica BCSA [3] 5a Ed. senza marcatura CE (da Annex B della norma)

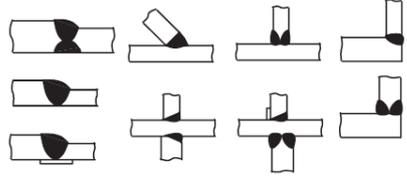
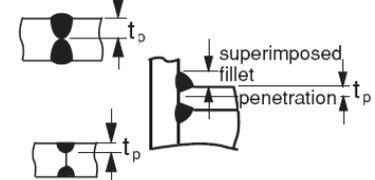
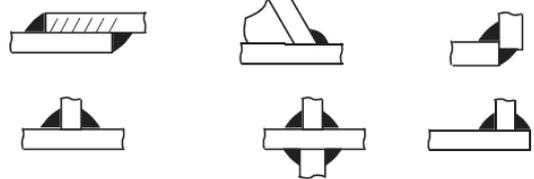
PARTE A	CONTROLLO VISIVO: Prima dell'inizio dei controlli non distruttivi, tutte le saldature devono essere controllate visivamente da personale qualificato allo scopo	
PARTE B	CONTROLLI NON DISTRUTTIVI OBBLIGATORI E LORO FREQUENZA	
	Saldature a completa penetrazione	Saldature a parziale penetrazione
	Examples: 	Examples: 
Metodi per rilevamento dei difetti superficiali ⁽¹⁾	Tutti gli spessori	Tutti gli spessori
Controlli ultrasonici	50% (100% per saldature in opera)	20% (100% per saldature in opera)
	Spessore massimo ≥ 10 mm	Penetrazione $t_p \geq 8$ mm
	50% (100% per saldature in opera)	20% (100% per saldature in opera)
	Saldature a cordoni d'angolo	
	Examples: 	
Metodi per rilevamento dei difetti superficiali ⁽¹⁾	Lato del cordone > 10 mm oppure spessore da saldare > 20 mm	
Controlli ultrasonici	Saldature in officina: 10% della produzione settimanale Saldature in opera: 100%, ma per saldature longitudinali 0,5m ogni 10m	
	Lato del cordone ≥ 20 mm	
	10% (100% per saldature in opera)	
	⁽¹⁾ Liquidi penetranti e/o controlli magnetoscopici	

Tabella C10.5 - Controlli sulle saldature secondo la specifica BCSA [3] 5a Ed. con marcatura CE (da Annex B della norma)

Tipo di saldatura	Estensione del controllo
Saldature di testa, a T o a croce a parziale o completa penetrazione (escluse saldature longitudinali e saldature di piatti di irrigidimento)	10% con controllo magnetoscopico (MT)
Saldature di testa, a T o a croce a parziale o completa penetrazione con elementi da saldare di spessore > 10 mm	10% con controllo ultrasonico (UT)
Saldature a cordone d'angolo, con spessore di gola della saldatura > 12 mm, o lato della saldatura > 17 mm, o massimo spessore da unire > 20 mm	10% con MT e 5% con UT

Alla luce di quanto prescritto dalle NTC, dalla UNI EN 1090-2 e dalla specifica BCSA, si possono fare le seguenti considerazioni:

- Lasciare al Direttore dei Lavori, come richiedono le NTC, l'onere di fissare tipo ed estensione dei controlli non ci pare la soluzione migliore. I controlli non distruttivi hanno un costo, ed un impatto sui tempi delle lavorazioni. Lasciare che sia il Direttore dei Lavori a stabilirne l'estensione vuol dire caricare la commessa di costi non messi in conto al momento del contratto. Ciò pone oggettivamente il Direttore dei Lavori in una posizione debole, tra l'Appaltatore che vuole ridurre al minimo i controlli per ridurre costi e tempi di lavorazione, e lo stesso Cliente il quale finisce per lo più per fidarsi

dell'Appaltatore, avendo anch'egli in mente soprattutto il rispetto dei tempi. Pertanto ci pare opportuno che l'estensione dei controlli sia inserita nel Capitolato Tecnico.

- Le prescrizioni della EN 1090-2 (tabella C10.3) paiono molto dettagliate e ben fatte, graduando i controlli in base alla classe di esecuzione, anche se tendenzialmente presentano estensioni di controlli abbastanza limitate, rispetto alla pratica in atto in Italia presso grosse società. Inoltre, a nostro avviso, hanno il difetto di legare alcuni controlli allo stato di sforzo della saldatura, richiedendo quindi il travaso di informazioni progettuali dal Progettista all'Appaltatore, cosa molto difficile da organizzare nella pratica, almeno in Italia. Infine non distinguono tra controlli su saldature in officina e saldature in opera, per le quali ultime una maggiore prudenza sembra raccomandabile.
- Le prescrizioni della specifica BCSA nella versione originale (senza la marcatura CE) appaiono non avere i "difetti" di quelle delle 1090-2: impongono controlli al 100% su quasi tutte le saldature in opera, specie quelle a completa penetrazione (cosa che ci appare ragionevole), e non fanno dipendere i controlli dallo stato di sforzo. Inoltre l'entità complessiva dei controlli appare maggiore di quelli richiesti dalle 1090-2.

Basandoci su queste considerazioni, abbiamo sviluppato la tabella 10.5.1a di controlli, svincolando i controlli dallo stato di sforzo, mantenendo, per le saldature in officina, una percentuale di controlli simile a quella proposta dalle 1090-2 ma qualificandola come percentuale minima, ed invece richiedendo il 100% di controllo sulle saldature in opera.

Abbiamo poi aggiunto la tabella 10.5.1b di controlli da effettuare su strutture "*di particolare impegno*", e qui l'entità percentuale è paragonabile a quella richiesta dalla specifica BCSA (e da *standard* aziendali italiani).

Circa i controlli della saldatura tra piattabanda superiore ed anima delle vie di corsa, abbiamo esteso il controllo sia a saldature a completa penetrazione che a quelle a cordoni d'angolo, mentre la UNI EN 1090-2 li prescrive esplicitamente solo per le saldature a completa penetrazione (tabella C10.3). Questo perché quella saldatura è molto sollecitata, non solo dagli sforzi globali, ma anche dalla diffusione del carico della ruota del carroponete e da eventuali eccentricità della posizione della rotaia rispetto all'asse dell'anima della trave. E' senz'altro preferibile realizzare questa saldatura a completa penetrazione, proprio per la sua delicatezza, specie con carroponeti che lavorano molto, ma le si vede realizzate in giro anche a cordoni d'angolo, così il maggior controllo ci è parso opportuno.

Certamente non basta fare delle tabelle che stabiliscono le percentuali di controlli non distruttivi per aver risolto il problema: nulla può sostituire la sensibilità e l'esperienza di chi poi svolge effettivamente i controlli, il quale può graduare i suoi controlli tenendo anche conto del tipo di saldature che trova e del livello di qualità di realizzazione che riscontra. Aver comunque una base contrattuale certa, come abbiamo già detto, aiuta il lavoro del Direttore dei Lavori, o di chi per lui esegue i controlli.

C'è poi il problema di come scegliere i tratti di saldatura da esaminare, quando il controllo riguardi percentuali di lunghezza dei cordoni inferiori al 100%. Nelle EN 1090-2 si fa riferimento all'Appendice C della norma EN 12062:1997, che però è stata prima sostituita dalla versione 2004, e poi abrogata e sostituita dalla UNI EN ISO 17635:2010. Però questa norma non contiene più l'Appendice C che era comunque informativa. Abbiamo allora preferito introdurre nel testo (cfr. §10.5) quanto veniva suggerito in quella Appendice, eliminando la citazione di una norma ritirata. Chiaramente il criterio di scelta dei tratti di saldatura da controllare è solo un suggerimento, ed è probabile che chi è esperto nei controlli possa seguire altri metodi dettati dalla propria esperienza.

E' stato poi esplicitato, come regola di buona pratica, il controllo con ultrasuoni per tutte le lamiere costituenti le piastre di base e tutte le lamiere di spessore maggiore o uguale a 60 mm, per la ricerca di eventuali sfogliature o sdoppiature.

C10.6 Criteri di accettabilità delle saldature

Le ispezioni visive ed i controlli non distruttivi consentono di determinare gli eventuali difetti delle saldature, ma bisogna stabilire un criterio di accettabilità di tali difetti. La norma che viene usata per questo scopo è la UNI EN ISO 5817 che elenca una estesa casistica di difetti di saldatura, e dà dei requisiti di accettabilità per 3 diversi livelli, B, C e D, dal più severo al meno severo, senza fornire un criterio di scelta del livello adeguato che si trova invece nelle normative (EC3, UNI EN 1090-2 e NTC2008). Nella figura C10.1 riportiamo un esempio di difettosità tratto dalla norma (eccessiva asimmetria del cordone d'angolo), con i livelli accettabili a seconda dei gradi B, C o D.

Secondo le NTC2008 (cfr. §11.3.4.5) ed anche l'Eurocodice (cfr. UNI EN 1993-1-8, par. 4.1(3)) il livello di difettosità accettabile per le saldature è in genere il grado C della norma UNI EN ISO 5817. Le NTC2008 prescrivono inoltre che per le saldature soggette a fatica il grado deve essere il B della stessa norma. La UNI EN 1090-2 infine è più dettagliata e lega il grado di difettosità alle classi di esecuzione EXC.

La norma prescrive (cfr. §7.6) i seguenti livelli di difettosità:

- a) per classe di esecuzione EXC1: livello D;
- b) per classe di esecuzione EXC2: livello C con alcune eccezioni (elencate nella norma, che qui omettiamo per brevità);
- c) per classe di esecuzione EXC3: livello B;
- d) per classe di esecuzione EXC4: livello B con ulteriori requisiti più stringenti elencati nella norma.

Nella nostra proposta di Capitolato Tecnico sposiamo la versione della EN 1090-2. Però, siccome le NTC vietano un livello di difettosità inferiore al C, abbiamo prescritto il livello C non solo per la classe EXC2 ma anche per la EXC1.

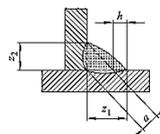
N°	Riferimento alla ISO 6520-1:1998	Designazione dell'imperfezione	Note	f mm	Limiti delle imperfezioni per i livelli di qualità		
					D	C	B
1.16	512	Asimmetria eccessiva del cordone d'angolo (tato disuguale eccessivo)	Nei casi in cui un cordone d'angolo asimmetrico non è prescritto 	≥0,6	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,2 a$	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 a$

Figura C10.1 - Esempio di difettosità di saldatura secondo UNI EN ISO 5817.

Un'ultima osservazione sui livelli di difettosità.

Nell'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-1-8 §4.1(3)) si dice che tutte le saldature devono avere difettosità di livello C secondo EN ISO 25817. Ma se si va sul sito della UNI si vede che questa norma è stata sostituita dalla UNI EN ISO 5817:2008, e pertanto va aggiornata questa prescrizione. Per la storia, ricordiamo che nella CNR UNI 10011 si distinguevano giunti testa a testa a completa penetrazione di 1 e 2 classe, sostanzialmente in base alla difettosità: raggruppamento B della UNI 7278 per quelli di 1 classe, raggruppamento F per quelli di 2 classe. Quelli di 1a classe avevano resistenza pari a quella del materiale saldato, quelli di 2a, resistenza pari all'85% di essa. La norma UNI 7278 che definiva la difettosità è stata ritirata senza sostituzione.

C11. Bullonatura

C11.1 Generalità

Una osservazione circa l'uso delle rondelle, di cui si parla al §11.1 della nostra proposta di Capitolato. La EN 1090-2 (cfr. §8.2.4) dice: "Generalmente non sono richieste rondelle per i bulloni non precaricati da usare in fori normali. Se la rondella è richiesta, deve essere specificato se va posta sotto il dado o sotto la testa, in dipendenza di quale dei due viene ruotato, o sotto entrambi". In una nota poi si sottolinea come l'uso della rondella minimizza i danni alla verniciatura, specie se di grande spessore. Le stesse prescrizioni si trovano sulla specifica BCSA [3], perciò abbiamo deciso di richiedere l'uso di una rondella per i bulloni al taglio, posta sotto la parte ruotata, in modo da evitare danni alla verniciatura.

Per i bulloni precaricati sono invece richieste due rondelle, una sotto la testa ed una sotto il dado, per i 10.9 ed una sola, sotto la parte che va ruotata, per gli 8.8. Notare che la rondella che va sotto la testa deve essere smussata, mentre quella che va sotto al dado deve essere piana.

C11.2 Serraggio dei bulloni precaricati

Circa l'entità delle coppie di serraggio da applicare per i bulloni HR e HV, si riportano i valori nelle tabelle 11.2.1 e 11.2.2 che sono sostanzialmente i valori che si trovano sulle norme, cioè sulla Circolare applicativa delle NTC [7].

Da notare solamente che tali tabelle riportano i valori per k (coefficiente di rendimento di coppia) compreso tra 0,10 e 0,16 mentre sulla Circolare si arriva a 0,22. Ma il valore massimo ammesso dalla norma relativa ai bulloni UNI EN 14399-4 è appunto 0,16. Circa le modalità di serraggio dei bulloni precaricati, viene riportato ciò che è suggerito dalla EN 1090-2 al §8.5. Vengono proposti due metodi, il *Metodo della Coppia* ed il *Metodo Combinato*, dei quali vengono date precise indicazioni operative.

Da notare che nelle vecchie CNR UNI 10011 (cfr. §9.9.3.3) si indicava il metodo della coppia, con valori un po' diversi: 60% della coppia massima nella prima fase e 100% nella seconda, mentre nella procedura indicata dalle UNI EN 1090-2 tali percentuali sono salite, rispettivamente al 75% ed al 110%. Ma le coppie di serraggio delle 10011 erano calcolate con $k=0,20$ quindi con una ipotesi di minore efficienza del complesso vite-dado-rondelle, e con una forza di precarico nel gambo $F_{p,C}$ sostanzialmente pari all'80% di quella prevista dalle nuove norme (come spiegato al §C11.3). Nelle NTC2008 invece non si parla di metodi di serraggio.

A proposito delle modalità K1 e K2 di indicazione del coefficiente di rendimento di coppia k , bisogna notare che:

La modalità K1 consente una variazione molto ampia di k (da 0,10 a 0,16);

La modalità K2 invece, espressa in termini di valor medio k_m e coefficiente di variazione V_k , limitando quest'ultimo a 0,10, impone una minore dispersione dei valori di k .

Con il metodo K2 cioè, si conosce k con maggior precisione di quanto non consenta il metodo K1. E' quindi intuitivo che il metodo K1 sia meno oneroso per il Produttore rispetto al metodo K2, e quindi anche meno costoso da realizzare.

Per essere precisi, il valor medio k_m di una serie di n valori di k ricavati sperimentalmente (essendo k_i il generico valore) sarà definito come:

$$k_m = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}$$

Il coefficiente di variazione V_k sarà definito come:

$$V_k = \frac{\sqrt{\frac{\sum_i (k_i - k_m)^2}{n-1}}}{k_m}$$

Queste definizioni si trovano sulla UNI EN 14399-3 (sistema HR) e UNI EN 14399-4 (sistema HV).

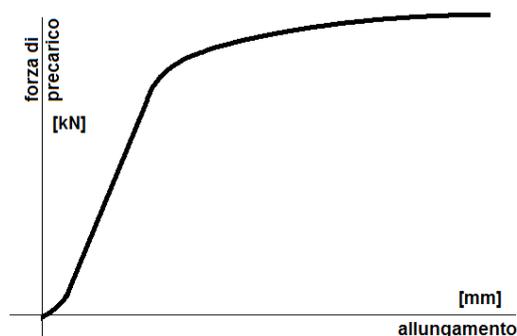


Figura C11.1 - Tipico andamento della forza di pretrazione nel gambo di un bullone precaricato in funzione dell'allungamento subito.

Da quanto detto sulla precisione diversa del coefficiente k in funzione del metodo di determinazione, K1 o K2, dovrebbe intuirsi perché il metodo di serraggio della coppia può essere usato solo con bulloni in modalità K2 (k più preciso), mentre il metodo di serraggio combinato può essere usato, oltre che con la modalità K2, anche con la K1 (k meno preciso). Immaginiamo infatti di usare il metodo della coppia, dove si controlla solo la coppia applicata e *non si controlla l'allungamento* del gambo del bullone, con bulloni in modalità K1, dove il k viene specificato come:

$$0,10 \leq k \leq 0,16$$

Dovremmo serrare prima al 75% e in seconda fase al 110% della coppia di serraggio necessaria per imporre la voluta forza di pretrazione nel gambo che, ricordiamolo, porta il bullone al 70% della tensione di rottura f_{ub} . Che valore di k dovremmo usare? Per minimizzare l'errore useremo il k medio, cioè:

$$k_m = (0,10 + 0,16) / 2 = 0,13$$

Se però l'insieme vite-dado fosse molto efficiente ed il k reale fosse 0,10, noi applicheremo una forza di pretrazione maggiore di quella che vogliamo dare del:

$$\frac{0,13 - 0,10}{0,10} \times 100 = 30\%$$

Quindi la tensione reale alla quale tireremo il bullone, tenendo conto che applichiamo una coppia 1,10 volte maggiore di quella dovuta, sarebbe:

$$1,3 \times 1,1 \times 0,7 f_{ub} = 1,001 f_{ub}$$

Saremmo cioè pericolosamente vicini alla tensione di rottura, se non addirittura oltre essa. Da non dimenticare anche il fatto che, se il k vero fosse 0,16, noi applicheremo una coppia minore di quella stabilita, e quindi avremo di conseguenza meno pretrazione del dovuto e quindi meno portanza dell'unione.

Se invece applichiamo il metodo combinato, nella seconda fase non controlliamo più la coppia ma l'allungamento del bullone attraverso la misura della rotazione del dado. Quindi potremmo anche muoverci nel tratto quasi orizzontale della curva tensione-allungamento del bullone (figura C11.1) limitando però a valori ammissibili l'allungamento. Quindi non romperemo sicuramente il bullone e raggiungeremo la forza di pretrazione con sicurezza.

A corollario del fatto che il metodo della coppia è più critico rispetto al metodo combinato, richiamiamo l'attenzione che la UNI EN 1090-2 richiede per la taratura della chiave dinamometrica una precisione maggiore ($\pm 4\%$) se è da impiegare con il metodo della coppia, rispetto al valore più permissivo di $\pm 10\%$ consentito se si sa usando il metodo combinato.



Figura C11.2 - Bolt Tension Calibrator (Shidmore-Wilhelm)

Circa i metodi di serraggio dei bulloni ad attrito, negli Stati Uniti la norma AISC 360-10 ripropone sostanzialmente gli stessi metodi della UNI EN 1090-2, con qualche differenza per il metodo combinato (che lì è chiamato *turn-of-nut method*) ma con una sostanziale differenza per il metodo della coppia (detto *calibrated wrench method*). Le AISC infatti impongono per il *calibrated wrench method* di non usare nessuna relazione analitica che legghi coppia di serraggio con forza di pretrazione (cioè in altri termini di non usare valori di k valutati in precedenza dai Produttori) ma di valutare tale relazione (cioè il k) in modo sperimentale con un apposito attrezzo detto *bolt tension calibrator* (figura C11.2). E tale valutazione va fatta all'inizio di ogni giornata lavorativa da parte del personale addetto al serraggio dei bulloni e per ogni condizione di impiego. Cioè le AISC sono molto scettiche sulla possibilità di avere dei valori k standard affidabili e preferiscono la sperimentazione di volta in volta.

Tabella C11.1 – Bulloni precaricati e metodi di serraggio

Tipologia bulloni	k	Metodo di serraggio
HV o HR	K1	Metodo Combinato
HV o HR	K2	Metodo della Coppia o Metodo Combinato
HV o HR con rondelle ad indicazione di carico	K0	Metodo DTI (<i>Direct Tension Indicator Method</i>)
HV o HR con modalità di serraggio diverse da quelle standard (serraggio dalla testa, condizioni ambientali particolari)	Determinato sperimentalmente secondo Annex H	Metodo Combinato
HRC	K0	Metodo specifico con pistola avvitatrice coassiale
HRC con impossibilità di usare la pistola avvitatrice coassiale	K2	Metodo della Coppia
HRC con impossibilità di usare la pistola avvitatrice coassiale e con aggiunte rondelle ad indicazione di carico	K0	Metodo DTI

C'è anche da dire che i vari produttori di bulloneria sviluppano a volte delle procedure di serraggio dei propri prodotti, basate sulla UNI EN 1090-2 ma con scostamenti dalla norma. Ad esempio, la ditta Agrati fornisce una propria procedura di serraggio, scaricabile in rete ([http://www.agrati.com/it/pdf/Informazioni tecniche per l'utilizzo EN 1090-2_rev3.pdf](http://www.agrati.com/it/pdf/Informazioni_tecniche_per_l'utilizzo_EN_1090-2_rev3.pdf)), nella quale viene raccomandato solo il metodo combinato e trascurato il metodo della coppia. Inoltre l'angolo di rotazione per spessori serrati t tali che $6d \leq t \leq 10d$ viene limitato a 90° , mentre la UNI EN 1090-2 (e la nostra proposta di Capitolato) indicano 120° . Questa riduzione dell'angolo di rotazione è giustificata affermando che "*consente un maggiore margine di sicurezza rispetto al cedimento della giunzione, pur garantendo il minimo precarico nominale richiesto dalle norme armonizzate*".

Quindi, quando il Produttore della bulloneria ha una sua procedura relativa al serraggio dei bulloni ed ai controlli del serraggio, è opportuno seguirla in parziale deroga alla UNI EN 1090-2, e questo concetto lo abbiamo scritto nel nostro Capitolato.

I bulloni HRC sono dotati di un codolo (prolungamento del gambo) a rottura per torsione calibrata. Si avvita con una speciale pistola che esercita due coppie contrapposte sul codolo (cioè sul gambo del bullone) e sul dado. Quando si arriva alla coppia di serraggio stabilita, il codolo si rompe e il serraggio è completato (vedi UNI EN 1090-2, §8.5.5).

Le rondelle ad indicazione di carico presentano delle protrusioni che si schiacciano progressivamente al serraggio. Introducendo un apposito spessore tra una protrusione e l'altra si testa se il serraggio ha generato la forza di pretrazione richiesta: ciò accade quando le protrusioni sono completamente piatte e lo spessore di controllo non riesce a penetrare (vedi UNI EN 1090-2 §8.5.6).

In tabella C11.1 riportiamo un quadro sintetico dei vari tipi di bulloni precaricati ammessi, dei relativi coefficienti k e dei metodi di serraggio associati.

Grande importanza ha la determinazione del coefficiente d'attrito da impiegare nelle unioni con bulloni precaricati. Ricordiamo che le NTC2008 (cfr. §4.2.8.1.1), riprendendo le CNR UNI 10011, danno solo due valori per tale coefficiente: *“Il coefficiente di attrito tra le piastre m a contatto nelle unioni “pre-caricate” è in genere assunto pari a:*

- *0,45 quando le giunzioni siano sabbiate al metallo bianco e protette sino al serraggio dei bulloni,*
- *0,30 in tutti gli altri casi.”*

Noi abbiamo preferito riportare in tabella 11.2.3 i valori dati dalla EN 1090-2 in tabella 18, che sono più articolati.

Abbiamo aggiunto esplicitamente l'indicazione di non adottare giunti ad attrito con superfici zincate a caldo. In linea teorica, stando agli esperti, sarebbe possibile realizzare tali giunti, previa spazzolatura o leggera sabbiatura delle superfici e determinazione sperimentale del coefficiente d'attrito, ma è prassi più sicura escluderli.

Bisogna sottolineare che è molto importante che il Progettista, se ha usato unioni ad attrito, indichi chiaramente nei disegni di progetto il valore del coefficiente di attrito che ha impiegato nei calcoli, affinché l'Appaltatore ne sia al corrente e possa organizzare le proprie lavorazioni in modo che siano con esso compatibili.

C11.3 Serraggio dei bulloni non precaricati

In serraggio dei bulloni non precaricati è un argomento abbastanza controverso. In realtà per questi bulloni il serraggio serve solo ad evitare che non si svitino, e non ha importanza ai fini della portata come per i bulloni precaricati.

Le EN 1090-2 (cfr. §8.3) dicono semplicemente che il serraggio *“deve portare le superfici a contatto stabile, dopo di che ogni complesso di bulloni deve essere portato ad una condizione di stretto serraggio senza caricare troppo i bulloni. Il termine “serraggio stretto” può essere in generale identificato con quello ottenibile dallo sforzo di un uomo che usi una chiave di dimensione normale senza un braccio di allungamento e può essere posto come il punto in cui una chiave a percussione inizia a battere”*.

E' chiaro che questa definizione è alquanto vaga, e la coppia impressa dipende ovviamente dalla forza dell'uomo che esegue l'operazione.

La vecchia CNR UNI 10011 dava le stesse regole per il serraggio dei bulloni precaricati e non precaricati, e prescriveva che la coppia di serraggio fosse:

$$M_r = 0,2 \cdot d \cdot F_{p,C}$$

Dove d è il diametro nominale del bullone e $F_{p,C}$ la forza di precarico, calcolata con la formula seguente:

$$F_{p,C} = 0,8 \cdot \min\{f_{yb}; 0,7 f_{ub}\} \cdot A_s$$

Dove f_{yb} e f_{ub} sono, rispettivamente, le tensioni di snervamento dei bulloni, e A_s l'area netta (abbiamo usato la simbologia dell'EC3 e della EN 1090-2 per aumentare la leggibilità). Con queste regole, le forze di precarico sono quelle riportate in tabella C11.1, e le coppie di serraggio sono quelle riportate in tabella C11.2.

Notiamo che la formula della 10011 relativa alla coppia di serraggio è uguale a quella delle UNI EN 1090-2, con $k=0,2$:

$$M_r = k \cdot d \cdot F_{p,C}; \quad (0,10 \leq k \leq 0,16)$$

Invece la forza di precarico nella EN 1090-2 è un po' diversa e risulta maggiore perché non è moltiplicata per 0,8:

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

Tabella C11.1 – Forze di precarico [kN] secondo CNR UNI 10011

Diametro [mm]	A _s [mm ²]	Classe bullone					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
12	84.3	16.2	18.9	20.2	23.6	28.3	37.8
14	115	22.1	25.8	27.6	32.2	38.6	51.5
16	157	30.1	35.2	37.7	44.0	52.8	70.3
18	192	36.9	43.0	46.1	53.8	64.5	86.0
20	245	47.0	54.9	58.8	68.6	82.3	109.8
22	303	58.2	67.9	72.7	84.8	101.8	135.7
24	353	67.8	79.1	84.7	98.8	118.6	158.1
27	459	88.1	102.8	110.2	128.5	154.2	205.6
30	561	107.7	125.7	134.6	157.1	188.5	251.3
36	817	156.9	183.0	196.1	228.8	274.5	366.0

Tabella C11.2 – Coppie di serraggio [Nm] secondo CNR UNI 10011

Diametro [mm]	A _s [mm ²]	Classe bullone					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
12	84.3	39	45	48	57	68	91
14	115	62	72	77	90	108	144
16	157	96	113	121	141	169	225
18	192	133	155	166	194	232	310
20	245	188	220	235	274	329	439
22	303	256	299	320	373	448	597
24	353	325	380	407	474	569	759
27	459	476	555	595	694	833	1110
30	561	646	754	808	943	1131	1508
36	817	1130	1318	1412	1647	1976	2635

Si è deciso di applicare le vecchie coppie delle CNR UNI 10011 per i bulloni non precaricati soggetti a taglio e trazione, mentre per quelli soggetti solo a taglio sono state adottate le stesse coppie ridotte del 20%.

Questa filosofia appariva in una bozza delle NTC circolata sino ad ora (e mai emessa sino ad ora), e ci è apparsa condivisibile, per quanto sicuramente non l'unica possibile.

Pertanto le coppie di serraggio della tabella 11.3.1 sono le stesse di quelle della tabella C11.2, mentre quelle della tabella 11.3.2 sono ottenute dalle precedenti applicando una riduzione del 20%.

Tali valori si devono prudentemente ridurre del 25% se i bulloni sono zincati, per evitare rischi di spannamento del filetto.

C11.4 Controllo del serraggio dei bulloni precaricati

Nulla si dice nelle NTC2008 sul controllo del serraggio dei bulloni, mentre se ne parla nella UNI EN 1090-2, e perciò pare logico ricorrere ancora alla norma europea anche per il controllo. Così abbiamo fatto, riportando le percentuali di bulloni da controllare date dalla 1090-2 (cfr. §12.5.2) e le varie fasi del controllo che sono sintetizzate nella tabella 11.4.1. Si fornisce poi una procedura, sempre presa dalle 1090-2 (appendice M, che è normativa) per come comportarsi quando il controllo di un bullone fallisce. Giusto per confronto, ricordiamo cosa diceva a proposito la vecchia CNR UNI 10011: *“Se in un giunto anche un solo bullone non risponde alle prescrizioni circa il serraggio, tutti i bulloni del giunto devono essere controllati”*.

C12. Tolleranze di fabbricazione

Fissare (e rispettare) delle tolleranze costituisce una prescrizione molto importante per il raggiungimento di un buon livello di qualità di una struttura metallica, sia perché si rende affidabile l'accoppiamento tra i diversi elementi lavorati, e quindi si rende realizzabile il montaggio della struttura, sia perché si rende la struttura compatibile con i materiali di finitura, problema che diventa molto stringente e critico quando si usano ad esempio elementi di pannellatura esterna con ampie superfici vetrate, che accettano tendenzialmente basse tolleranze di montaggio. Ma a volte il mancato rispetto di certe tolleranze può alterare alcune ipotesi di calcolo fatte dal Progettista, e richiedere quindi delle verifiche da parte sua.

Si possono distinguere 3 tipi di tolleranze:

- le *tolleranze di laminazione*, che sono fissate dalle norme (ad esempio dalle UNI EN 10034 e 10024 per i laminati, e dalle UNI EN 10210-2 e 10219-2 per i profili tubolari);
- le *tolleranze di costruzione*, cioè quelle da applicare ai laminati una volta terminate le lavorazioni di officina;
- le *tolleranze di montaggio*, cioè gli scostamenti ammissibili della geometria della struttura realizzata rispetto a quella teorica.

Mentre le tolleranze di laminazione sono fissate da tempo dalle norme, quelle di lavorazione e di montaggio non sono fissate dalle norme italiane attuali, cioè dalle NTC, né da quelle passate, cioè dalle CNR UNI 10011. Le NTC2008, al §4.2.9.4 “Problematiche specifiche”, dicono: “Per tutto quanto non trattato nelle presenti norme, in relazione a: [...] Tolleranze degli elementi strutturali di fabbricazione e montaggio, [...] si può far riferimento a normative di comprovata validità”.

Invece la specifica della BCSA [3] fissa tali tolleranze, fornendo quindi a progettisti, committenti ed appaltatori un utile strumento.

In Italia sino ad ora quindi ogni progettista ha dovuto arrangiarsi da solo a fissare livelli di tolleranze, mentre le grosse aziende che sviluppano propri Capitolati hanno sempre indicato i livelli di tolleranze desiderati.

Adesso invece la UNI EN 1090-2 fissa un sistema di tolleranze, che è quello che abbiamo seguito nella nostra proposta di Capitolato, con qualche eccezione che documenteremo qui di seguito. C'è da dire che a volte le tolleranze della 1090-2 appaiono un po' più blande rispetto alle pratiche aziendali italiane, o anche rispetto alla specifica [3] nella sua versione compatibile con la normativa inglese (quella compatibile con la marcatura CE ha corretto alcune tolleranze rendendole più aderenti a quelle delle 1090-2), comunque la 1090-2 resta al momento l'unica valida fonte di informazioni per l'argomento.

La UNI EN 1090-2, oltre alla distinzione tra tolleranze di laminazione, costruzione e montaggio, fa, per le ultime due categorie, una seconda distinzione tra:

- *tolleranze essenziali*, che sono quelle il cui mancato rispetto impone una verifica da parte del progettista, perché sono valori tali da poter compromettere la valutazione della sicurezza da lui fatta nei calcoli;
- *tolleranze funzionali*, che sono quelle che tengono conto della compatibilità con gli altri elementi della costruzione: pannellature, infissi, solette, etc. Esse sono date in due serie, classe 1 e classe 2, con quelle della seconda classe più stringenti rispetto a quelle della prima, ma non sono date delle prescrizioni su quando usare la prima serie o la seconda. Perciò al riguardo il progettista dovrà fare delle valutazioni, ad esempio confrontando i valori con quelli eventualmente richiesti dai produttori di facciate e pannellature, o magari riservando la classe 1 a strutture di minore impegno e la classe 2 a strutture più impegnative. Da notare che la specifica [3] nella versione compatibile con il marchio CE, riprende le tolleranze della 1090-2 ma elimina il discorso delle 2 classi.

Per fare un esempio di tolleranza essenziale, consideriamo quella relativa all'altezza di una trave ad H composta mediante saldature (tabella C12.1). Come si vede, la tolleranza funzionale sull'altezza di una trave alta, poniamo, 900 mm, è di $900 / 50 = 18$ mm, mentre quelle funzionali sono di 3 o 2 mm, a seconda della classe. Ciò vuol dire che variazioni in altezza dell'ordine di 2-3 mm possono creare problemi con pannellature o altro, ma non certo statici, mentre una diminuzione dell'altezza di 18 mm può portare ad una non trascurabile diminuzione della resistenza della trave. In tabella C12.2 riportiamo il confronto tra alcuni valori statici di una trave saldata alta 900 mm (con tolleranza zero sull'altezza) ed una identica alla quale però abbiamo applicato una riduzione dell'altezza di $h/50$, cioè pari alla tolleranza essenziale massima. Si vede come il momento d'inerzia si riduca del 4,3% ed il modulo plastico del 2,3%.

Tabella C12.1 – Tolleranze sull'altezza di una trave a H saldata

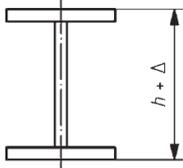
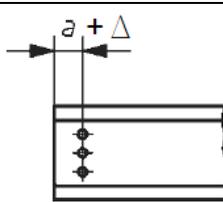
N.	Descrizione		Tolleranza ammessa		
			Essenziale	Funzionale Classe 1	Funzionale Classe 2
1		Altezza globale h	$\Delta = -\frac{h}{50}$ nessun valore positivo	$h \leq 900$ mm: $\Delta = \pm 3$ mm $900 < h \leq 1800$ mm: $\Delta = \pm h / 300$ $h > 1800$ mm: $\Delta = \pm 6$ mm	$h \leq 900$ mm: $\Delta = \pm 2$ mm $900 < h \leq 1800$ mm: $\Delta = \pm h / 450$ $h > 1800$ mm: $\Delta = \pm 4$ mm

Tabella C12.2 – Confronto tra valori statici con tolleranze essenziali

	Profilo teorico	Profilo con tolleranza essenziale	Differenze
Profilo	2PL 500×35 + 1PL 830×10	2PL 500×35 + 1PL 812×10	
altezza h	900	882	$h/50 = 18$ mm
momento d'inerzia J [cm ⁴]	702703	672706	- 4,3%
Modulo plastico W_{pl} [cm ³]	16860	16471	- 2,3%

Un secondo esempio abbastanza significativo riguarda la tolleranza sulla posizione dell'asse di una bullonatura rispetto ad un estremo di una trave (tabella C12.3). La tolleranza essenziale dice che non è ammesso un avvicinamento dell'asse al bordo libero; se ciò accadesse infatti si ridurrebbe la portata dei bulloni per rifollamento, e quindi il progettista sarebbe tenuto a calcolare la nuova portata ridotta. Il che ovviamente non vuol dire che un eventuale superamento di una tolleranza essenziale debba portare al rigetto del pezzo lavorato, ma solo che è necessaria l'apertura di una non conformità con una verifica del progettista. Se la portata ridotta è compatibile con gli sforzi, il pezzo può essere tranquillamente accettato.

Tabella C12.3 – Tolleranze sulla posizione di un asse di foratura

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa		
		Essenziale	Funzionale Classe 1	Funzionale Classe 2
1	 <p>Variazione Δ della distanza a di un foro da un bordo libero</p>	$\Delta = - 0$ mm (Nessun valore positivo prescritto)	$\Delta = - 0$ mm $\Delta = + 3$ mm	$\Delta = - 0$ mm $\Delta = + 2$ mm

Scendendo nel dettaglio, una prima osservazione da fare è circa la tolleranza di rettilineità sui componenti laminati o saldati, dopo le lavorazioni. In tabella C12.4 abbiamo riportato un confronto tra vari valori presenti in normativa. La UNI EN 1090-2 prescrive il valore di $L/750$ per gli elementi composti saldati, mentre per gli elementi realizzati con profili laminati rimanda alle specifiche di prodotto. Ora se si guarda a queste specifiche (UNI EN 10034, 10024, 10210-2 e 10219-2) si vede come in parecchie circostanze si prevedano tolleranze meno severe di $L/750$. In realtà, come spiegato in [8], il problema non esiste perché le tolleranze delle norme di prodotto sono relative alla lunghezza di laminazione del prodotto, che è in genere maggiore di quella dell'elemento lavorato, o dell'interpiano per le colonne degli edifici multipiano, a cui va invece riferita la tolleranza delle 1090-2. Quindi calcolandola su una lunghezza minore si dovrebbe agevolmente rientrare nel valore di $1/750$ della lunghezza di misura. Per tale ragione abbiamo preferito attribuire anche ai laminati la tolleranza di $L/750$, eliminando il richiamo alle norme di prodotto che fa la 1090 (vedi tabella 12.15 N. 3).

Sempre sul discorso della tolleranza di rettilineità, c'è una obiezione fatta da qualcuno, circa il fatto che le prime curve di stabilità delle aste compresse in acciaio (quelle che hanno condotto, nel nostro Paese, ai coefficienti ω) sono state ricavate ipotizzando delle tolleranze di rettilineità di $L/1000$, quindi più strette di quelle ammesse dalle 1090-2. Sempre in [8] viene dimostrato come le imperfezioni iniziali indicate nell'Eurocodice 3 (UNI EN 1993-1-1 tabella 5.1, ripresa dalla Circolare [7] Tabella C4.2.1), che sono imperfezioni equivalenti che tengono conto, oltre che della mancanza di rettilineità, anche di altri fattori quali le autotensioni o le dissimmetrie della sezione trasversale, siano basate su valori di circa $L/750$, e che le attuali curve di stabilità basate sui coefficienti χ , dovrebbero essere compatibili con il valore di tolleranza della EN 1090-2.

Tabella C12.4 – Tolleranze di rettilineità dei componenti secondo le varie normative

Norma	Altezza h della trave [mm]	Tolleranze di laminazione su lunghezza L
UNI EN 10034 UNI EN 10024 laminati	$80 \leq h \leq 180$	$L / 333$
	$180 \leq h \leq 360$	$L / 666$
	$h > 360$	$L / 1000$
UNI EN 10210-2 UNI EN 10219-2 profili cavi	qualsiasi	$L / 500$
UNI EN 1090-2	elementi saldati	$L / 750$
	elementi laminati a caldo	secondo le specifiche di prodotto
Specifica BCSA [3] (versione non compatibile CE)	profili generici laminati o saldati	$L / 1000$ o 3 mm il maggiore dei due
	profili cavi	$L / 500$ o 3 mm il maggiore dei due

Una osservazione va fatta per la tolleranza di ortogonalità della sezione libera di un elemento strutturale rispetto all'asse dell'elemento stesso (cfr. tabella 12.15 N.6). La tolleranza della UNI EN 1090-2 è (cfr. D.2.7 No. 6) $D/100$ in Classe 1, e $D/300$ sino ad un massimo di 10 mm in classe 2, dove D è l'altezza dell'elemento. Ora, se si unisce con giunti a doppio coprigiunto, poniamo, due IPE 600, lasciando 10 mm d'aria nel giunto, come usualmente si fa, con la tolleranza di $D/100$ potrei avere su entrambi gli elementi uno scostamento dalla rettilineità di $600/100 = 6$ mm che, se si sommassero nel modo più sfavorevole, supererebbero l'aria lasciata. Lo stesso se connettiamo la stessa IPE 600 a taglio con la flangia di una colonna, usando 2 angolari bullonati e lasciando un'aria di 10 mm che, se accettiamo la tolleranza di $D/100$, potrebbe ridursi a soli 4 mm. L'aria di 10 mm è giudicata sufficiente per consentire la rotazione dell'estremo della trave, complice i giochi foro-bullone e la deformabilità degli angolari; ma con 4 mm rischio che la trave "punti" contro la colonna compromettendo l'efficienza del giunto. Inoltre si rischierebbe che le forature della bullonatura si avvicinino al bordo libero, cosa vietata dalle tolleranze della 1090 (cfr. tabella 12.9 N. 2). Da notare che la specifica [3], nella sua versione compatibile con le norme inglesi, prescrive $D/300$. Perciò ci è parso più ragionevole prescrivere il valore di $D/300$, consentendo il valore $D/100$ solo se l'elemento contiguo dista di almeno 20 mm.

Vogliamo infine far notare che abbiamo indicato le tolleranze funzionali sulla posizione di un asse di fori per bullonatura (tabella 12.16 N. 2, 3 e 4) pari a quelle delle EN 1090-2, cioè dell'ordine di 2-3 mm, se si usano i giochi foro-bullone delle 1090-2. Altrimenti, se si usano i giochi delle NTC che sono più ristretti, occorre ridurre le tolleranze degli assi a valori di 1-2 mm, per evitare il rischio di non avere corrispondenza tra i fori.

C13. Montaggio

Le prescrizioni che abbiamo riportato in questo capitolo sono ricavate completamente dalla UNI EN 1090-2 che trattano l'argomento abbastanza approfonditamente, ponendo l'accento sull'attenzione ai problemi di sicurezza dei lavori.

Un concetto importante che abbiamo riportato è quello della necessità di predisporre un Metodo di Montaggio, cioè un documento che metta per iscritto le procedure da adottare per eseguire il montaggio delle strut-

ture. Tenendo conto delle peculiarità del progetto e di tutti i fattori che possono influenzare il montaggio, enumerati nelle 1090 e che noi abbiamo riportato nel capitolo 13 della nostra Proposta di Capitolato.

Chi deve sviluppare il Metodo di Montaggio? Secondo la formulazione della EN 1090-2 (cfr. §9.3), il Progettista dovrebbe sviluppare un suo Metodo di Montaggio di Progetto consegnarlo all'Appaltatore che, sulla base di esso e delle proprie esigenze di organizzazione dei lavori, svilupperà un suo Metodo di Montaggio del Costruttore, che deve dimostrarsi non meno sicuro di quello del progettista.

Noi abbiamo preferito la versione della specifica BCSA [3], la quale prescrive all'Appaltatore di sviluppare il Metodo di Montaggio e sottoporlo per approvazione al Progettista il quale approva per garantire che le procedure che si intende adottare non contrastano coi principi del progetto. Dopo la sua approvazione il montaggio potrà iniziare. Abbiamo solo sostituito Progettista con Direttore dei Lavori, con l'obbligo però per questi di chiedere l'approvazione del Progettista.

Ci pare importante sottolineare come le 1090-2 e la specifica [3] impongano il coinvolgimento nelle procedure di montaggio, se non nelle operazioni di montaggio stesse, del Progettista per quanto di sua competenza, perché solo lui può giudicare se una certa sequenza di montaggio sia compatibile o meno con le ipotesi progettuali che lui ha fatto.

Notiamo poi che abbiamo previsto, sulla scia delle 1090-2, che per le classi EXC2, EXC3 ed EXC4 sia preparata una procedura scritta relativa alle attività di riparazione delle strutture in acciaio accidentalmente danneggiate durante le fasi di trasporto e stoccaggio.

Seguono poi in questo capitolo altre prescrizioni che suonano un po' come raccomandazioni di buona pratica realizzativa, e di alcune di esse diciamo qualcosa qui nel seguito.

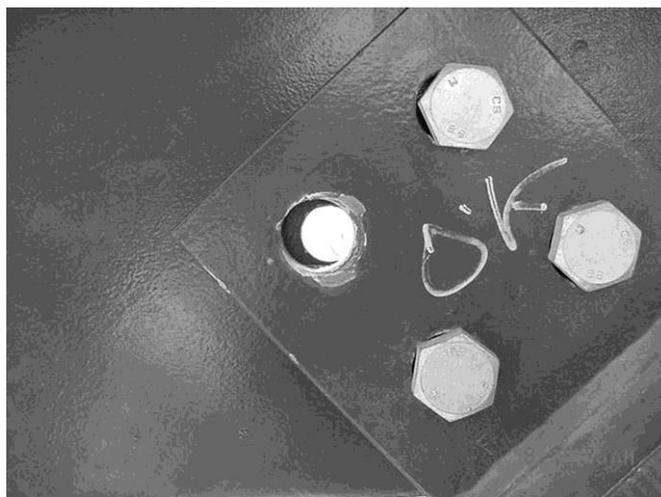


Figura C13.1 – Forature non corrispondenti (in tre fori si è riusciti ad infilare il bullone, ma nel quarto no...)

Una prescrizione riguarda il problema, che potrebbe presentarsi al montaggio, di non corrispondenza tra i fori di due o più elementi da collegare (figura C13.1).

Le vecchie CNR-UNI 10011 (§9.8.7) prescrivevano: “*Non sono ammesse al montaggio in opera eccentricità, relative a fori corrispondenti, maggiori del gioco foro-bullone di cui al punto 9.3.2. Entro tale limite è opportuna la regolarizzazione del foro con utensile adatto*”. Il punto 9.3.2 era in realtà il punto 5.3.2 dove si davano i giochi foro-bullone poi riportati anche dalle NTC2008, cioè 1 mm fino ad un diametro di 20 mm, poi 1,5 mm. Quindi questi erano i limiti, ristretti, della nostra vecchia normativa per la regolarizzazione di forature che non corrispondono.

Non ci pare che né le NTC2008 né la relativa Circolare applicativa dicano nulla al riguardo. La UNI EN 1090-2 invece, al §9.6.5.3, concede un alesaggio dei fori sino a raggiungere le dimensioni ammesse per i fori “maggiorati” o “asole” di cui alla tabella 11 che abbiamo riprodotto in tabella C9.1, e dopo aver verificato che gli sforzi riescano a passare ugualmente (L'Eurocodice 3 dà indicazioni per le verifiche dei bulloni in fori maggiorati od asole: cfr. UNI EN 1993-1-8 Table 3.4, nota (1), dove si dice sostanzialmente che la resistenza al rifollamento si riduce all'80% per i fori maggiorati).

Eliminando le asole, abbiamo pensato di lasciare, nella nostra proposta di Capitolato, la possibilità di eseguire il riallineamento dei fori mediante alesatura sino a portarli alla dimensione dei fori maggiorati, riprodotta in

tabella 9.6.1. Abbiamo altresì detto che occorre l'approvazione del Progettista, il quale deve riverificare il rifollamento di questi fori maggiorati.

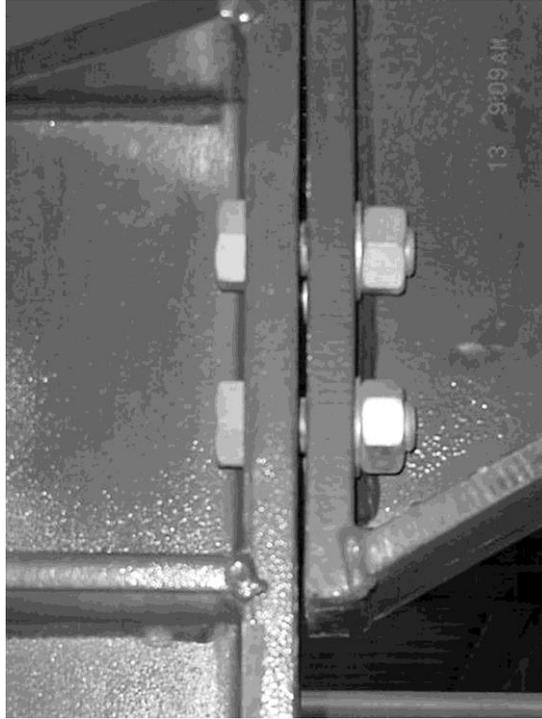


Figura C13.2 – Mancanza di contatto tra le superfici di un giunto flangiato

Circa la possibile mancanza di contatto tra superfici bullonate (figura C13.2) abbiamo previsto l'uso di spessoramenti, così come fa la UNI EN 1090-2 (cfr. §8.3) e come anche raccomandato dalle normative AISC. Possono essere utili spessoramenti "a pettine" (figura C13.3).

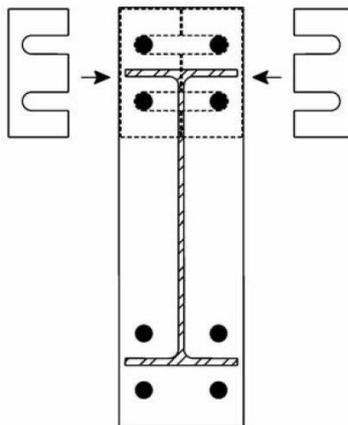


Figura C13.3 – Spessoramenti a pettine (da AISC 358-10)



Figura C13.4 – Uso dei dadi di livellamento sotto la piastra di base

Un'altro discorso affrontato è quello del livellamento delle piastre di base che può essere eseguito, oltre che con spessori, anche con dadi di livellamento posti sui tirafondi sotto la piastra di base (figura C13.4).

Per migliorare l'accoppiamento dei tirafondi con le piastre di base si raccomanda poi di ricorrere a fori maggiorati nelle piastre, e di interporre tra la piastra di base ed i dadi dei tirafondi delle grosse rondelle quadrate o circolari, di adeguato spessore, con foro questa volta con basso gioco (figura C13.5). Poiché la tolleranza ammessa per il posizionamento dei tirafondi senza possibilità di aggiustaggio è di ± 3 mm (cfr. tabella 14.5 N. 2), ne deriva che andrebbero lasciati 3 mm più, diciamo, un altro millimetro di agio tutto intorno al tirafondo, quindi il diametro del foro maggiorato dovrebbe essere di almeno 8 mm maggiore di quello del tirafondo.



Figura C13.5 – Rondelle quadrate di grosso spessore per compensare i fori maggiorati nelle piastre di base

C14. Tolleranze di montaggio

Una prima osservazione riguarda la tolleranza essenziale di verticalità delle colonne che, seguendo la EN 1090-2, viene stabilita come:

Per gli edifici monopiano in genere, di altezza h (tabella 14.1 N.1):

$$\Delta = \pm \frac{h}{300}$$

Per portali monopiano, media tra le colonne di altezza h (tabella 14.1 N.2):

$$\Delta = \pm \frac{h}{500}$$

Per gli edifici multipiano, di n piani ed altezza globale $\sum_i h_i$ (tabella 14.2 N.1):

$$\Delta = \pm \frac{\sum_i h_i}{300 \cdot \sqrt{n}}$$

La tolleranza per un multipiano varia quindi tra $h/424$ per un edificio di 2 piani a $h/671$ per 5 piani, per dare un'idea.

Poiché le tolleranze essenziali sono quelle che, se superate, impongono di fare delle verifiche progettuali, conviene ricordare cosa le norme relative al calcolo delle strutture in acciaio prevedano per tener in conto le imperfezioni globali di una struttura.

Le imperfezioni globali devono essere tenute esplicitamente in conto nel calcolo dei telai, sia controventati che con attacchi a momento (cfr. UNI EN 1993-1-1 §5.3.2, ripreso dalla nostra Circolare [7], §C4.2.3.5).

Le imperfezioni globali sono schematizzate tramite uno scostamento Δ dell'intero telaio rispetto alla verticalità, e quindi misurate mediante l'angolo di inclinazione Φ , costante per ogni elemento del telaio (vedi figura C14.1).

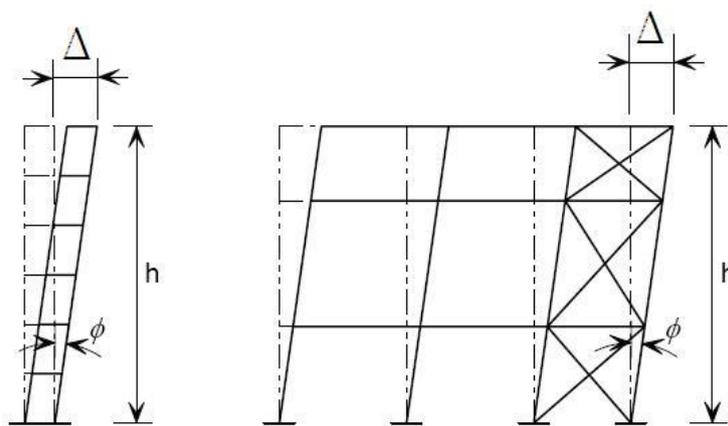


Figura C14.1 Imperfezioni globali equivalenti secondo EN 1993-1-1

Il valore di Φ da considerare è:

$$\Phi = \Phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

Dove:

$$\Phi_0 = 1/200; \quad \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{con} \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1; \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

h è l'altezza globale del telaio; m è il numero di colonne del telaio (si considerano solo quelle che portano un carico non minore del 50% del carico medio delle colonne).

In tabella C14.1 abbiamo dunque raffrontato, per edifici monopiano a 2, 3 o 4 colonne, i valori di Δ di cui di fatto si deve tenere conto nel calcolo con quelli, stabiliti dalla UNI EN 1090-2, oltre i quali vanno fatte verifiche statiche. Come si vede, sino ad una altezza di 5 metri, nei calcoli si tiene conto delle imperfezioni per valori di Δ sicuramente minori di quelli che fanno scattare le verifiche secondo la EN 1090-2 (283 per 4 colonne, contro 300 richiesto dalle 1090). Per altezze superiori i valori sono più intersecati ma, sostanzialmente, le prescrizioni della EN 1090-2 appaiono coerenti con quelle dell'EC3.

Tabella C14.1 – Inclinazione colonne monopiano secondo EN 1090-2 e imperfezioni iniziali secondo EN 1993-1-1

h	α_h	α_m			$1/\Phi$ ($\Delta = \Phi \times h$) (cfr. EN 1993-1-1 §5.3.2)			N ($\Delta = h/N$) (cfr. tab. 14.1 N. 1 e N. 2)
		$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	
3	1,00	0,87	0,82	0,79	231	245	253	300 / 500
5	0,89				258	274	283	
7	0,76				306	324	335	
10	0,67				347	368	380	

In tabella C14.2 abbiamo fatto dei confronti analoghi per un edificio multipiano, ipotizzando una altezza di interpiano di 4,5 m al piano terra e poi altezze di 3,5 m per i piani superiori. Anche qui si può vedere come sostanzialmente si tiene conto nel calcolo delle eccentricità accidentali per valori minori di quelli giudicati essenziali dalla EN 1090-2.

Tabella C14.2 – Inclinazione colonne multipiano secondo EN 1090-2 e imperfezioni iniziali secondo EN 1993-1-1

n	h	α_b	α_m			$1/\Phi$ ($\Delta = \Phi \times h$) (cfr. EN 1993-1-1 §5.3.2)			$300 \cdot \sqrt{n}$ ($\Delta = \pm \frac{\sum h}{300 \cdot \sqrt{n}}$) (cfr. tab. 14.2 N. 1)
			$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	
2	8,00	0,71	0,82	0,79	0,77	346	358	365	424
3	11,50	0,67				368	380	388	520
4	15,00	0,67				368	380	388	600
5	18,50	0,67				368	380	388	671

Riguardo alle tolleranze funzionali per gli edifici monopiano, notiamo quanto segue:

- le tolleranze riportate nella EN 1090-2 per il caso N. 1 di tabella 14.3 sono $h/300$ ed $h/500$ rispettivamente per la classe 1 e la classe 2. Ci è parso che questi valori siano troppo poco cautelativi, considerando che la specifica [3] nella versione compatibile con le norme inglesi riporta invece $h/600$ o 5 mm, il maggiore dei 2, ma non più di 25 mm. Abbiamo preferito allora adottare per la classe 1 il valore dato dalla [3] e per la classe 2 portare il valore a $h/1000$, in linea con quanto si trova spesso in normative aziendali italiane.

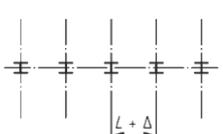
In analogia, stessi valori sono stati scelti per il caso N. 2 di tabella 14.3 (i valori originali di EN 1090-2 sono $h/500$ in entrambe le classi).

Per il caso N. 3 infine, sempre della stessa tabella, cioè per le colonne con carroponete, si è scelta la tolleranza riportata in [3] perché quella della EN 1090-2 suona: " $\Delta = \pm 25$ mm" in classe 1 e " $\Delta = \pm 15$ mm" in classe 2 e pare francamente poco logica e stranamente corrispondente solo alla parte finale di quella riportata in [3].

Circa la tabella 14.4, tolleranze funzionali sulla verticalità delle colonne negli edifici multipiano, abbiamo riportato quanto prescritto dalle EN 1090-2. Annotiamo, per confronto, che circa il caso N.1, la specifica [3] prescrive un massimo di 50 mm su 10 piani: considerando piani da 4,5 m al primo piano e 3,5 m ai piani successivi, con le tolleranze della 1090 avremmo 38 mm in classe 1 e 23 mm in classe 2, quindi valori senz'altro più severi. Per il caso N.2, la [3] prevede $h/600$.

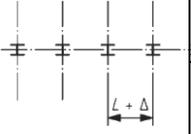
Una osservazione merita anche la tolleranza di posizionamento delle colonne in pianta, ed in particolare la distanza tra 2 colonne contigue (tabella 14.6 N.3). Abbiamo riportato la tolleranza data dalla UNI EN 1090-2 che riproduciamo in tabella C14.3.

Tabella C14.3 — Posizione colonne - tolleranze di fabbricazione funzionali (da tabella 14.6)

N.	Descrizione	Tolleranza ammessa	
		Classe 1	Classe 2
3	 <p>Distanza tra gli assi di colonne adiacenti: $L \leq 5$ m $L > 5$ m</p>	$\Delta = \pm 10$ mm $\Delta = \pm 0,2(L+45)$ mm	$\Delta = \pm 7$ mm $\Delta = \pm 0,2(L+30)$ mm

Un modo diverso di stabilire questa tolleranza (la menziono perché si trova in capitolati aziendali) è quello di fissarla nello 0,02% della distanza tra le colonne in oggetto. In tabella C14.4 abbiamo riportato un confronto tra le tolleranze calcolate con la EN 1090-2 e quelle con la regola dello 0,002% che, come si vede sono sensibilmente più severe e difficili da rispettare. C'è da tener presente che con le possibili tolleranze di verticalità delle colonne anche le tolleranze maggiori date dalle EN 1090-2 possono essere compensate: se infatti pensiamo ad una colonna alta, poniamo, 4 metri, con una tolleranza di 1/600 sull'altezza (tabella 14.3 N.1) ognuna delle due colonne può muoversi in cima di $4000 / 600 = 6,7$ mm, recuperando così i 10 -14 mm di tolleranza in pianta.

Tabella C14.4 — Posizione colonne - tolleranze di fabbricazione funzionali (da tabella 14.6)

N. 	Di- stanza tra le colonne L [m]	$\Delta = \pm 0,02\% L$ [mm]	UNI EN 1090-2	
			Classe 1 Δ [mm]	Classe 2 Δ [mm]
	5	1	10	7
	10	2	11	8
	15	3	12	9
	20	4	13	10
	25	5	14	11

Per quanto riguarda infine le tolleranze di costruzione e montaggio delle vie di corsa (tabelle 14.9 e 14.10), abbiamo riportato le tolleranze della CNR UNI 10021 che sono spesso più severe di quelle della UNI EN 1090-2 e sono correntemente usate in Italia dai costruttori di carroponi.

C15. Trasporto

Nessun commento particolare.

C16. Stoccaggio

Nessun commento particolare.

C17. Trattamenti protettivi

C17.1 Generalità

I trattamenti protettivi che consideriamo sono la verniciatura e la zincatura a caldo.

La protezione mediante zincatura dei materiali deve essere conforme alle norme UNI-EN ISO 1461:2009 e UNI EN ISO 14713:2010 parti 1 e 2. Utili indicazioni si trovano anche nell'Annex F (Corrosion protection) della UNI EN 1090-2.

Per quanto riguarda invece la protezione mediante verniciatura, i trattamenti protettivi devono essere conformi alle prescrizioni della norma UNI UN ISO 12944 nelle sue varie parti e sempre all'Annex F della 1090-2.

La scelta operativa di un trattamento protettivo viene fatta dall'Appaltatore, se ovviamente è nel suo scopo di fornitura, ma i dati di base per operare la scelta li deve fornire il Committente. In particolare egli deve fornire:

a) la *classe di corrosività*, che caratterizza l'ambiente nel quale l'opera deve essere collocata, poiché è il Committente a conoscere l'ubicazione dell'opera. Per poterla definire abbiamo posto nel testo del Capitolato la tabella 17.1.1, che è la copia del prospetto 1 della UNI EN ISO 12944-2. In essa vengono dati esempi di ambienti con associata una classe di corrosività, che è poi definita in base al consumo annuale, in assenza di trattamento protettivo, di acciaio, o di zinco per strutture zincate. Anche nella norma UNI EN ISO 14713-1, relativa alla zincatura, si trova una analoga tabella che definisce le classi di corrosività e che abbiamo riprodotto in tabella 17.1.2.

b) la *classe di durabilità*, cioè il periodo di durata media di un trattamento protettivo prima che sia necessaria una manutenzione del trattamento stesso. Tali classi sono indicate in tabella C17.1.1, dove abbiamo riportato le definizioni date per esse dalla norma UNI EN ISO 12944-1 per la verniciatura, e dalla UNI EN ISO 14713-1 per la zincatura. Come è abbastanza ovvio, per la zincatura si definiscono durabilità sino ad oltre 20 anni, mentre per una verniciatura ci si ferma prima. In genere appunto, per le verniciature si sceglie una durabilità di circa 10 anni, cioè media (M). Per la zincatura la durata può tranquillamente essere il doppio. Da notare che la durabilità è un parametro tecnico di riferimento e non una garanzia contrattuale, che è cosa ben diversa e riguarda la sfera legale dei contratti (di cui le norme citate non si occupano, e men che meno noi in questa pubblicazione).

Tabella C17.1.1 – Classi di durabilità

Classi di durabilità	Durabilità [anni]	
	UNI EN ISO 12944-1 (verniciatura)	UNI EN ISO 14713-1 (zincatura)
Molto bassa (VL)	-	< 2
Bassa (L)	da 2 a 5	da 2 a 5
Media (M)	da 5 a 15	da 5 a 10
Alta (H)	> 15	da 10 a 20
Molto alta (VH)	-	> 20

c) la *vita prevista per l'opera*, e l'eventuale *preferenza per un sistema o l'altro*, per la verniciatura o la zincatura. La scelta può essere anche motivata da ragioni tecniche: se si ha, ad esempio, una struttura industriale sulla quale si prevede di saldare in opera parecchi supporti di tubazioni, vie cavi, canale di ventilazione, etc., allora è più opportuno ricorrere alla verniciatura piuttosto che alla zincatura, perché più facilmente ritoccabile. Se, per fare un altro esempio, si ha una struttura di copertura, quindi difficilmente raggiungibile per operazioni di manutenzione, e magari realizzata con angolari schiena-a-schiema che è molto difficile verniciare, allora è probabilmente preferibile zincarla, e così via.

Si è attirata l'attenzione sugli acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica secondo UNI EN 10025-5 (COR-TEN), i quali normalmente non richiedono trattamenti protettivi perché sono in grado di autoprotettersi dalla corrosione, mediante la formazione di un film superficiale passivante a base di ossidi di ferro. Ma in certe condizioni tale passivazione non avviene: ad esempio in presenza di ristagni di acqua, in ambienti con cloruri, in esposizione continua all'acqua di mare, etc. In questi casi vanno adottati trattamenti protettivi superficiali mediante verniciatura come per i normali acciai al carbonio.

C17.2 Zincatura

Assieme alla verniciatura, la zincatura a caldo (l'unico tipo di zincatura di cui ci occupiamo qui) è un ottimo metodo per proteggere le strutture in acciaio dalla corrosione.

Esso consiste nell'immergere i componenti da proteggere in un bagno di zinco fuso a circa 450°. Lo zinco forma delle leghe Fe-Zn a contatto con l'acciaio, quindi uno strato protettivo compenetrato e perciò ben aderente alla superficie del componente da proteggere. L'effetto protettivo è basato non soltanto sull'effetto barriera esercitato dallo strato di zinco, ma anche dalla protezione catodica nei confronti dell'acciaio, a causa della differenza di potenziale elettrochimico tra i due materiali.

La protezione mediante zincatura ha in genere durata ben maggiore di quella mediante verniciatura, ma certamente richiede certi accorgimenti in fase di progettazione e cure in fase realizzativa. Poiché si tratta di immergere i componenti in un bagno ad alta temperatura, occorre che:

- a) si predispongano opportuni fori di sfiato dei vapori che si generano e fori di drenaggio per consentire la fuoriuscita del bagno di zinco;

- b) si seguano opportune regole nel progettare i componenti e le loro saldature in modo da evitare distorsioni a seguito delle alte temperature raggiunte durante la zincatura;
- c) si scelgano preferibilmente certi tipi d'acciaio che danno migliori risultati nel trattamento;
- d) si abbiano particolari cure in certe lavorazioni (foratura, taglio, formatura) per evitare un aspetto non regolare della zincatura.

Gi aspetti a) e b) principalmente richiedono una attenzione da parte del Progettista, che quindi deve progettare tenendo presente che i vari componenti devono essere zincati.

Per una guida esauriente a tutti i problemi relativi alla zincatura, consigliamo vivamente la lettura del testo [10], che davvero dà al progettista una guida pratica da seguire.

Nel testo del nostro Capitolato abbiamo poi posto alcune indicazioni tratte da tale testo oltre che dalle normative applicabili. Queste sono la UNI-EN ISO 1461:2009 e la UNI EN ISO 14713:2010 parti 1 e 2. La seconda, che è una linea guida e quindi il gradino più basso delle normative ISO, è nondimeno molto utile perché dà parecchi consigli anche al progettista, specialmente nell'allegato A che mostra una serie di esempi di come realizzare le strutture (ed anche di come non realizzarle) al fine di ottenere una buona zincatura.

C17.3 Verniciatura

C17.3.1 Generalità

La scelta di un buon ciclo di pitturazione dipende sostanzialmente da:

- a) La classe di corrosività dell'ambiente;
- b) La durata prevista per il ciclo stesso prima di ricorrere alla sua manutenzione.

Per ottenere un ciclo di pitturazione durevole che contrasti efficacemente la corrosione dell'acciaio e garantisca quindi la durabilità dell'opera, non bastano però ottime vernici scelte coi criteri di cui sopra e una loro corretta applicazione, ma servono con altrettanta importanza i tre elementi qui di seguito elencati:

- c) Scelta dei dettagli progettuali più idonei;
- d) Eliminazione dei difetti superficiali (*preparation grade*);
- e) Preparazione della superficie (*surface preparation*: sabbiatura principalmente, o altre soluzioni quando la sabbiatura non sia possibile).

Nel testo del Capitolato si parla e si danno le prescrizioni normative circa tutti i punti sopra elencati. Si è poi deciso, fermo restando che la scelta di un ciclo di verniciatura deve essere fatta caso per caso, di fornire comunque dei cicli di riferimento per 4 casi:

- superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C3 (urbano e industriale con modesto inquinamento) (ciclo 1);
- superfici in acciaio al carbonio in ambiente classificato C4 (industriale particolarmente aggressivo, marino) (ciclo 2);
- superfici ferrose zincate a caldo (ciclo 3);
- protezione al fuoco per strutture metalliche (ciclo 4).

I cicli qui annunciati e poi descritti al §17.3.3, sono stati sviluppati dal dott. Fabio Favati della ditta COLGOM s.a.s. di Firenze.

C17.3.2 Scelta dei dettagli costruttivi

Questo argomento riguarda il progettista e pertanto trova posto in un Capitolato solo se la progettazione è affidata all'Appaltatore.

C17.3.3 Preparazione dell'acciaio

Il progettista dovrebbe prescrivere il giusto grado di rimozione dei difetti superficiali (*preparation grade*) delle varie aree (saldature, fori, bordi, superfici, etc.) degli elementi strutturali, in funzione della classe di corrosività e della durata prevista: più severe sono le condizioni ambientali più accurata dovrà essere la rimozione dei difetti superficiali in modo da consentire alla pitturazione di aderire perfettamente al manufatto senza creare punti deboli nei quali la corrosione potrebbe iniziare. Il progettista, allo scopo, può fare riferimento alla tabella 22 (tabella 17.3.3.1) della UNI EN 1090-2: in tale tabella si associano classi di corrosività e durata della verniciatura ai preparation grade, P1 P2 e P3, definiti in dettaglio nella UNI EN ISO 8501-3. E' chiaro

che la rimozione dei difetti superficiali riguarda il costruttore delle carpenterie, principalmente. Però, affinché egli applichi il giusto grado di preparazione, è opportuno che il progettista lo prescriva sui disegni o nel capitolato tecnico. Le indicazioni della 8501-3 quindi saranno di guida al costruttore per operare ed anche al direttore dei lavori per eventuali controlli. Un esempio delle prescrizioni della 8501-3 è riportato in figura 17.3.3.1. La rimozione dei difetti è ritenuta così importante che la UNI EN 1090-1 prescrive che il *preparation grade* adottato sia tra le informazioni da porre nella marcatura CE dell'elemento.

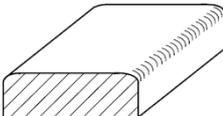
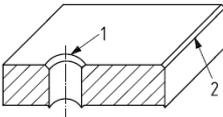
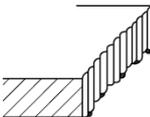
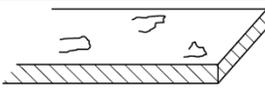
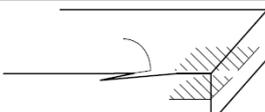
Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
2 Edges				
2.1 Rolled edges		No preparation	No preparation	Edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
2.2 Edges made by punching, shearing, sawing or drilling	 Key 1 punching 2 shearing	No part of the edge shall be sharp; the edge shall be free from fins	No part of the edge shall be sharp; the edge shall be free from fins	Edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
2.3 Thermally cut edges		Surface shall be free of slag and loose scale	No part of the edge shall have an irregular profile	Cut face shall be removed and edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
3 Surfaces generally				
3.1 Pits and craters		Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Surface shall be free of pits and craters
3.2 Shelling NOTE In English-language usage, the terms "slivers" and "hackles" are also used to describe this type of imperfection.		Surface shall be free from lifted material	Surface shall be free from visible shelling	Surface shall be free from visible shelling
3.3 Roll overs/roll laminations/cut laminations		Surface shall be free from lifted material	Surface shall be free from visible roll-overs/laminations	Surface shall be free from visible roll-overs/laminations

Figura C17.3.3.1 Imperfezioni e *preparation grade* secondo UNI EN ISO 8501-3

C17.3.4 Preparazione delle superfici

La preparazione delle superfici da verniciare deve essere in accordo alla UNI EN ISO 12944-4 e alla UNI EN ISO 8501. Essa ha due scopi:

1. Pulire la superficie da ruggine e residui vari che possono innescare la corrosione;
2. Fornire il giusto grado di rugosità al fine di favorire l'aggrappaggio della pittura alla superficie metallica.

Vanno eseguiti test durante le operazioni di sabbiatura per verificare il raggiungimento del grado di rugosità richiesto. La rugosità dipende dal tipo di abrasivo, dalle sue dimensioni e dall'energia applicata per colpire la superficie durante il lavoro di preparazione. Una adeguata rugosità è necessaria per ottenere una buona adesione del trattamento protettivo all'acciaio. Di solito al crescere degli spessori di vernice applicata corri-

sponde la richiesta di un grado di rugosità maggiore. Difficilmente si superano i 100 µm di rugosità. Le misure della rugosità devono essere eseguite in accordo alla EN ISO 8503-1 e EN ISO 8503-2. La ISO 8501-1 dà degli esempi fotografici del grado di finitura delle superfici da raggiungere (figura C17.3.4.1).

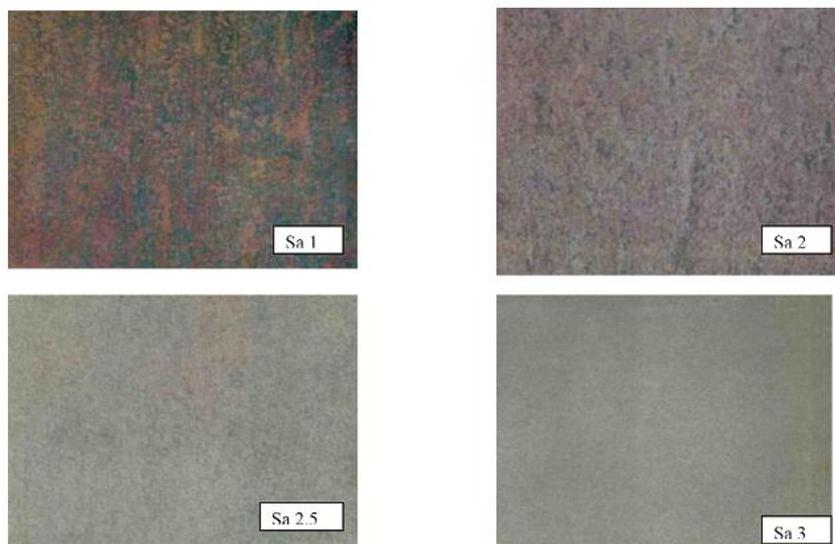


Figura C17.3.4.1 Esempi fotografici di sabbiatura, da UNI EN ISO 8501-1

La definizione dei vari gradi di preparazione (spazzolatura, sabbiatura, etc.) si trova dunque nella UNI EN ISO 12944-4, e sono riassunti nella tabella C17.3.4.1.

Tabella C17.3.4.1 – Gradi normalizzati di preparazione delle superfici secondo UNI EN ISO 12944-4

Grado normalizzato di preparazione ¹⁾	Metodo di preparazione della superficie	Esempi fotografici rappresentativi nella ISO 8501-1 ²⁾³⁾⁴⁾	Caratteristiche essenziali delle superfici preparate Per ulteriori dettagli, compreso il trattamento prima e dopo la preparazione della superficie (colonna 2), vedere ISO 8501-1	Campo di applicazione
Sa 1	Sabbatura (6.2.3)	B Sa 1 C Sa 1 D Sa 1	Rimozione solo di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei poco aderenti ⁵⁾ .	Preparazione della superficie di: a) superfici di acciaio non rivestito; b) superfici di acciaio rivestito, se i rivestimenti sono rimossi in misura tale da raggiungere il grado di preparazione specificato ⁶⁾ .
Sa 2		B Sa 2 C Sa 2 D Sa 2	Rimozione della maggior parte di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei. Ogni contaminazione residua deve essere ben aderente.	
Sa 2½		A Sa 2½ B Sa 2½ C Sa 2½ D Sa 2½	Rimozione di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei. Ogni traccia residua di contaminazione deve presentarsi solo come macchia leggera in forma di punti o strisce.	
Sa 3 ⁷⁾		A Sa 3 B Sa 3 C Sa 3 D Sa 3	Rimozione di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei. La superficie deve avere un colore metallico uniforme.	
St 2	Pulitura con utensili manuali o meccanici (6.2.1, 6.2.2)	B St 2 C St 2 D St 2	Rimozione di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei poco aderenti ⁵⁾ .	
St 3		B St 3 C St 3 D St 3	Rimozione di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei poco aderenti ⁵⁾ . Comunque la superficie deve essere trattata molto più a fondo che per St 2, fino a presentare un riflesso metallico dovuto al substrato metallico.	
FI	Pulitura alla fiamma (6.3)	A FI B FI C FI D FI	Rimozione di calamina, ruggine, rivestimenti e materiali estranei. Ogni residuo deve presentarsi solo come uno scolorimento della superficie (ombre di diversi colori).	⁶⁾
Be	Decapaggio acido (6.1.8)		Rimozione completa di calamina, ruggine e residui di verniciature. La verniciatura deve essere rimossa con mezzi idonei prima del decapaggio acido.	Prima della zincatura a caldo, per esempio.
<p>1) Legenda dei simboli usati: Sa = sabbatura (ISO 8501-1) St = pulitura mediante utensili manuali o meccanici (ISO 8501-1) FI = pulitura alla fiamma (ISO 8501-1) Be = decapaggio acido</p> <p>2) A, B, C e D sono le condizioni iniziali delle superfici di acciaio non rivestite (vedere ISO 8501-1).</p> <p>3) Gli esempi fotografici rappresentativi mostrano unicamente superfici o zone di superfici che non erano mai state rivestite.</p> <p>4) Nel caso di superfici di acciaio con rivestimenti metallici verniciati o non verniciati può essere concordata una analoga indicazione di certi gradi normalizzati di preparazione, purché siano tecnicamente realizzabili nelle condizioni date.</p> <p>5) La calamina è considerata poco aderente se può essere rimossa per sollevamento con una spatola per stucco.</p> <p>6) I fattori che influenzano la valutazione devono essere oggetto di particolare attenzione.</p> <p>7) Questo grado di preparazione della superficie può essere ottenuto e mantenuto solo in determinate condizioni, che non è possibile realizzare in loco.</p>				

C17.3.5 Cicli di pittura

I cicli di pittura vanno sviluppati sulla base delle informazioni fornite dal Committente e sulle caratteristiche peculiari dell'opera, da parte di una persona competente.

Nondimeno la UNI EN ISO 12944-5 fornisce delle tabelle, delle quali riproduciamo quella più sintetica nelle tabelle C17.3.5.1a e b, in base alle quali si può, se non scegliere un ciclo, almeno comprenderne e valutarne la scelta fatta da un esperto del settore.

Consideriamo ad esempio il Ciclo 1 del §17.3.3, sviluppato per ambiente classificato C3: urbano e industriale con modesto inquinamento, e denominato "Poliuretano alifatico". Esso è formato dalle seguenti mani:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1a mano - <i>primer</i> : | Zincante epossidico organico, sp. 60 micron. |
| 2a mano - intermedio: | Epossipoliamidica, sp. 50 micron. |
| 3a mano - finitura: | Poliuretano - alifatico, sp. 50 micron. |

Questo ciclo è l'applicazione del ciclo A1.17 della UNI EN ISO 12944-5, messo in evidenza in tabella C17.3.5.1a. Infatti si può vedere come nella norma si consiglia un *primer* del tipo "Zn(R)", ricco di zinco, con *binder* del tipo "EP, PUR, ESI", che cioè può essere EP= epossidico, o PUR=poliuretano, aromatico o alifatico, o infine ESI=Etilsilicato, e dello spessore di 60 micron. Così è stato scelto nel nostro caso un primer zincante epossidico organico da 60 micron. Le mani successive, sempre nel ciclo A1.17, devono essere 2-3,

dei tipi EP e/o PUR, e lo spessore totale deve essere di 160 micron. Infatti noi abbiamo una seconda mano epossipoliammidica da 50 micron, ed una mano finale poliuretana-alifatica da 50 micron. Lo spessore finale sarà dunque $60 + 50 + 50 = 160$ micron.

Un'ultima cosa da notare. Se si prevede di impiegare vernici intumescenti per raggiungere la resistenza al fuoco prescritta per la struttura, o per le varie parti o zone della struttura, occorre che il progettista fornisca i valori di sforzo dei vari elementi strutturali, eventualmente organizzati per zone o tipo di elemento a livello di sforzo paragonabile, e fattorizzati secondo la Combinazione Eccezionale definita al §2.5.3 delle NTC2008. Infatti lo spessore della vernice intumescente, che deve essere calcolato dal fornitore, è funzione anche dello stato di sforzo delle strutture, e questa informazione la può, anzi la deve fornire solo il Progettista. Nel §6.1, dove si sono definiti i Disegni di Progetto, si sono elencate, tra le tante informazioni che devono contenere, anche questi livelli di sforzo, nonché le resistenze al fuoco richieste.

care che i dati forniti dal fabbricante o dal fornitore siano corretti, di valutare in qualsiasi momento le prestazioni della verniciatura una volta che i lavori siano terminati.

Normalmente le aree di riferimento non sono utilizzate ai fini della garanzia, ma lo possono essere se così è stato concordato fra le parti. Se le aree di riferimento sono richieste, devono essere realizzate in zone soggette a sollecitazioni corrosive tipiche per la struttura interessata. Tutto il lavoro di preparazione della superficie e applicazione delle pitture deve essere eseguito in presenza di rappresentanti delle parti interessate, queste devono confermare per iscritto che le aree di riferimento sono conformi alla specifica. Tutte le aree di riferimento devono essere accuratamente documentate e possono anche essere marcate in modo indelebile sulla struttura stessa”.

La scelta del numero delle aree di riferimento, in base alla superficie verniciata, può essere fatta seguendo le indicazioni della norma che abbiamo riportato in tabella C17.3.6.1.

Tabella C17.3.6.1 – Numero delle aree di riferimento, secondo UNI EN ISO 12944-7

Dimensione della struttura (area verniciata) [m ²]	Numero massimo raccomandato di aree di riferimento	Percentuale massima raccomandata delle aree di riferimento rispetto all'area totale della struttura	Area totale massima raccomandata per le aree di riferimento [m ²]
fino a 2.000	3	0,6	12
più di 2.000 fino a 5.000	5	0,5	25
più di 5.000 fino a 10.000	7	0,5	50
più di 10.000 fino a 25.000	7	0,3	75
più di 25.000 fino a 50.000	9	0,2	100
più di 50.000	9	0,2	200

C18. Gestione della qualità

Un aspetto fondamentale affinché si raggiunga un buon livello di qualità delle opere, è che l'Appaltatore, cioè il Centro di trasformazione, per usare il linguaggio delle NTC, operi con controllo della qualità. Le NTC2008 infatti, al §11.3.1.7 “Centri di Trasformazione”, affermano: “Il trasformatore deve dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di assicurare che le lavorazioni effettuate non comportino alterazioni tali da compromettere le caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti originari previste dalle presenti norme. Il sistema di gestione della qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006”.

Per entrare nel merito di come organizzare in pratica il sistema di controllo della lavorazione, abbiamo sostanzialmente riportato quanto detto dalla UNI EN 1090-2 ai §4.2.1 e §4.2.2, elencando i principali documenti che devono essere prodotti.

C19. Norme di misurazione

Fornire delle norme di misurazione degli articoli da valorizzare in un appalto è cosa molto importante, perché permette a tutti quelli che partecipano alla gara di valutare le quantità in modo omogeneo. Il problema è notevole in un appalto di opere civili in genere, dove di voci da valorizzare ce ne sono tantissime. In un appalto invece di strutture in acciaio le voci sono molte meno ed il problema molto più ridotto.

In Inghilterra esistono delle norme di misurazione unificate, impiegate moltissimo anche nei lavori all'estero: sono le norme CESMM “Civil Engineering Standard Method of Measurement”, pubblicate da The Institution of Civil Engineers e giunte nel 2012 alla 4a edizione. In tabella C19.1 abbiamo riportato uno stralcio delle voci previste per la carpenteria metallica (relativa a strutture ed edifici, quella per i ponti ha altre voci che abbiamo per brevità ommesso).

In Italia invece non esistono norme di misurazione unificate, così spesso sono stati seguiti autorevoli capitoli aziendali. Nel capitolo 19 della nostra Proposta di Capitolato abbiamo così riportato una ipotesi di norme

di misurazione, basata in parte su i concetti del capitolato Enel, ma con delle semplificazioni. Entrando un po' nel dettaglio:

- i tirafondi sono contabilizzati a peso, in kg, comprendendo il tirafondo stesso, i dadi, le rondelle, etc. Nel capitolato Enel, ad esempio, sono contabilizzati a numero se inferiori a 5 kg di peso, a numero e a peso (peso reale meno 5 kg) se di peso maggiore. Nelle norme CESMM sono contabilizzati solo a numero.

- per la carpenteria vera e propria, abbiamo previsto 3 categorie: *carpenteria normale*, la gran parte delle strutture, *carpenteria complementare*, scale, ringhiere, parapetti, etc, e infine *carpenteria aggiuntiva*, costituita da elementi da porre in opera all'interno di strutture già montate, quindi con costi di montaggio ovviamente diversi. Questo è un criterio molto semplificato (nel capitolato Enel le due ultime categorie sono addirittura accorpate), perché nella realtà i costi per realizzare della carpenteria sono molto articolati: un profilo laminato ha un costo diverso da una trave composta saldata e da una trave tralicciata (le due ultime categorie essendo più costose), e pur nell'ambito dei laminati una IPE160 avrà un costo diverso di una IPE600, ad esempio. Riportando tutto in 3 categorie si spinge il Costruttore a farsi una analisi reale dei costi, in base alle tipologie ricavate dai disegni, e a fare un prezzo medio, semplificando per converso la vita del progettista che deve fare per conto del Committente un computo metrico estimativo dell'opera. La norma CESMM (vedi tabella C19.1) distingue invece ogni elemento strutturale dall'altro, e quindi sceglie la via dell'analiticità il più vicino possibile al modo di valutare i costi del Costruttore. Abbiamo inoltre compreso per semplicità nel prezzo della carpenteria anche i bulloni che vanno quindi pesati insieme alle strutture. Per confronto, nel capitolato Enel i bulloni non vanno pesati ma sono un onere delle strutture, quindi l'Appaltatore deve spalmare il loro costo sul costo delle carpenterie; nelle CESMM i bulloni sono conteggiati a parte, fornitura più montaggio, e valutati a numero.

- Per i cicli di verniciatura abbiamo scelto la strada di quotare separatamente le varie mani, ipotizzando la prima e la seconda mano in officina e la terza in opera. Se si scelgono strade diverse (tutte le mani in officina, ad esempio, e solo i ritocchi in opera) la valutazione per singola mano rimane comunque valida.

Quindi creando un computo metrico valorizzato con la nostra ipotesi di elenco prezzi, si dovrebbe ottenere qualcosa di simile a quanto riportato in tabella C19.2.

Se invece lo creiamo secondo le CESMM, allora le voci cambiano a seconda del tipo di struttura. Immaginando, ad esempio, di avere un piccolo edificio a portali, con travi tralicciate di copertura, travi ad anima piena d'impalcato, scale e corrimano, e di conteggiare solo la prima mano di *primer* data in officina, otterremmo più o meno quello che si legge in tabella C19.3. I codici attribuiti sono derivati dalle voci delle CESMM (vedi tabella C19.1) Ad esempio le travi tralicciate senza monta sono M351 perché: M= acciaio strutturale, 3= realizzazione di componenti per telai, 5= capriate e travi tralicciate, 1= rettilinei in pianta.

E' chiaro quindi che la nostra è solo una proposta di norme di misurazione, e che ognuno può adottare quella che ritiene più opportuna, in assenza di uno *standard* nazionale. E' altrettanto chiaro che l'esistenza di uno *standard* riconosciuto anche all'estero, come è il caso delle norme CESMM nel mondo anglosassone, semplifica il lavoro a tutti.

Tabella C19.1 – Estratto da norme CESMM 3a ediz. – Contabilizzazione strutture in acciaio

PRIMA RIPARTIZIONE	SECONDA RIPARTIZIONE	TERZA RIPARTIZIONE
CLASSE M: ACCIAIO STRUTTURALE		
3 – Realizzazione di componenti per telai 4 – Realizzazione di altri componenti	1- Colonne, <i>t</i> 2 – Travi, <i>t</i> 3 – Portali, <i>t</i> 4 – Torri e colonne tralicciate, <i>t</i> 5 – Capriate e travi tralicciate, <i>t</i> 6 – Controventi, arcarecci e listelli di parete, <i>t</i>	1 – rettilinea in pianta 2 – curva in pianta 3 – rettilinea in pianta, con premonta 4 – curva in pianta con premonta
	7 – Grigliati, <i>t</i> 8 – Bulloni d'ancoraggio, <i>num</i>	
6 – Montaggio di componenti per telai 7 – Montaggio di altri componenti	1 – Montaggio di prova, <i>t</i> 2 - Montaggio definitivo, <i>t</i>	
	3 – Bulloni a taglio, <i>num</i> 4 - Bulloni ad attrito 8.8, <i>num</i> 5 – Bulloni ad attrito 10.9, <i>num</i>	1 – Diametro < 16 mm 2 – da 16 a 20 mm 3 – da 20 a 24 mm 4 – da 24 a 30 mm 5 – da 30 a 36 mm
CLASSE N: ACCIAIO MISCELLANEO		
1	1 – Scale, <i>t</i> 2 – Passerelle e piattaforme, <i>t</i> 3 – Scale alla marinara, <i>m</i> 4 – Corrimano, <i>m</i>	

Tabella C19.2 – Computo metrico ed elenco prezzi secondo capitolo 19

Voce	Fornitura		Montaggio	
	Quantità	Prezzo unitario	Quantità	Prezzo unitario
Bulloni d'ancoraggio	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Carpenterie normali	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Carpenterie complementari	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Carpenterie aggiuntive	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Lamiere grecate	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Lamiere striate o bugnate	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Grigliati	..... kg	..... €/kg	..... kg	..... €/kg
Ciclo di pitturazione n. ... Prima mano in officina	..... m ²	..... €/m ²	..... m ²	..... €/m ²
Ciclo di pitturazione n. ... Seconda mano in officina	..... m ²	..... €/m ²	..... m ²	..... €/m ²
Ciclo di pitturazione n. ... Terza mano in opera	..... m ²	..... €/m ²	..... m ²	..... €/m ²

Tabella C19.3 – Computo metrico ed elenco prezzi secondo norme CSMM

Codice	Voce	Quantità	Prezzo unitario
M311	Colonne	..... t	..... €/t
M321	Travi	..... t	..... €/t
M351	Travi tralicciate senza monta	..... t	..... €/t
M353	Capriate tralicciate con monta	..... t	..... €/t
M361	Arcarecci, listelli di parete e controventi	..... t	..... €/t
M370	Grigliato	..... t	..... €/t
M380	Bulloni di ancoraggio, completi di dadi e piastrine	..... num	..... €/ciascuno
M620	Montaggio delle strutture	..... t	..... €/t
M632	Bulloni a taglio, diametro 16-20 mm, fornitura e posa in opera	..... num	..... €/ciascuno
M642	Bulloni ad attrito 8.8, diametro 16-20 mm, fornitura e posa in opera	..... num	..... €/ciascuno
M801	Sabbiatura delle strutture	..... m ²	..... €/m ²
M803	Prima mano di primer zincante epossidico	..... m ²	..... €/m ²
N110	Scale	..... t	..... €/t
N140	Corrimano	.....m	..... €/m

Bibliografia

Riferimenti citati nel testo

- 1) D.M. 14 gennaio 2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni
- 2) UNI EN 1090-2:2011 – “Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture in acciaio”
- 3) “National Structural Steelwork Specification for Building Construction”, 5th edition, 2007 – SCI-BCSA
- 4) AISC 303-10 “Code of Standard Practice for Steel Building and Bridges”
- 5) UNI EN 1990:2006 “Criteri generali di progettazione strutturale”
- 6) UNI EN 1991-1-7:2006 “Azioni sulle strutture - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali”
- 7) Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, di cui al D.M. gennaio 2008.
- 8) CEN/TC 250/SC3 N 1721 - “CEN/TC 250 – CEN/TC 135 Liaison - Consistency of the equivalent geometric imperfections used in design and the tolerances for geometric imperfections used in execution”, Febbraio 2010
- 9) BCSA-SCI “Joints in Simple Construction – Volume 2: Practical Applications”, 1992
- 10) AIZ – Associazione Italiana Zincatura “Manuale di Buone Pratiche per la Zincatura a Caldo – Linee guida per progettisti e costruttori” (Testo reperibile *on-line* nel sito dell’AIZ: www.aiz.it)
- 11) Benedetto Cordova “COSTRUZIONI IN ACCIAIO – Manuale pratico per l’impiego delle Norme Tecniche per le Costruzioni e dell’Eurocodice 3 (UNI EN 1993)” – Hoepli, 2011

Normative di riferimento

Si vedano quelle elencate nell’Appendice B del capitolo 2, “Proposta di Capitolato Tecnico”.



UNICMI

Unione Nazionale delle Industrie delle Costruzioni Metalliche dell'Involucro e dei serramenti
Via Chieti 8 - 20154 Milano - Telefono 023192061 - Fax 0231920632 - unicmi@unicmi.it
www.unicmi.it