Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

NORMA EUROPEA

# Eurocodice 3
# Progettazione delle strutture di acciaio
## Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1993-1-1

AGOSTO 2005

Versione italiana
del dicembre 2007

Corretta il
25 settembre 2008

Corretta il
9 settembre 2010

Eurocode 3
Design of steel structures
Part 1-1: General rules and rules for buildings

La norma fornisce i criteri generali di progettazione di edifici e opere di ingegneria civile di acciaio.
Si riferisce solamente ai requisiti di resistenza, esercizio e durata delle strutture. Altri requisiti, quali per esempio quelli dell'isolamento termico e acustico, non sono considerati.
Non contiene i requisiti particolari per la progettazione in zone sismiche. Le regole inerenti a tali requisiti sono fornite nell'Eurocodice 8 che integra o adatta in modo specifico le regole dell'Eurocodice 3 a questo scopo.
I valori numerici delle azioni sugli edifici e opere di ingegneria civile che devono essere considerati nel progetto non sono forniti nell'Eurocodice 3. Essi sono forniti nell'Eurocodice 1 che è applicabile a tutti i tipi di costruzione.

TESTO ITALIANO

La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1993-1-1 (edizione maggio 2005) e tiene conto dell'errata corrige di aprile 2009 (AC:2009).

La presente norma, unitamente alle UNI EN 1993-1-8:2005, UNI EN 1993-1-9:2005 e UNI EN 1993-1-10:2005, sostituisce la UNI ENV 1993-1-1:2004.

ICS 91.010.30; 91.080.10

**UNI**
**Ente Nazionale Italiano di Unificazione**
Via Sannio, 2
20137 Milano, Italia

© UNI
Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.
www.uni.com

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## PREMESSA NAZIONALE

La presente norma costituisce il recepimento, in lingua italiana, della norma europea EN 1993-1-1 (edizione maggio 2005 + errata corrige AC:2009), che assume così lo status di norma nazionale italiana.

La presente norma è stata elaborata sotto la competenza della Commissione Tecnica UNI

**Ingegneria strutturale**

La presente norma è stata ratificata dal Presidente dell'UNI ed è entrata a far parte del corpo normativo nazionale l'1 agosto 2005.

Le norme UNI sono elaborate cercando di tenere conto dei punti di vista di tutte le parti interessate e di conciliare ogni aspetto conflittuale, per rappresentare il reale stato dell'arte della materia ed il necessario grado di consenso.
Chiunque ritenesse, a seguito dell'applicazione di questa norma, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento o per un suo adeguamento ad uno stato dell'arte in evoluzione è pregato di inviare i propri contributi all'UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, che li terrà in considerazione per l'eventuale revisione della norma stessa.

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione di nuove edizioni o di aggiornamenti.
È importante pertanto che gli utilizzatori delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione e degli eventuali aggiornamenti.
Si invitano inoltre gli utilizzatori a verificare l'esistenza di norme UNI corrispondenti alle norme EN o ISO ove citate nei riferimenti normativi.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

**EN 1993-1-1**

May 2005

ICS 91.010.30; 91.080.10

Supersedes ENV 1993-1-1:1992
+ AC Febraury 2006

English version

# Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

This European Standard was approved by CEN on 16 April 2004.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

**Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels**

© 2006 CEN

All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 1993-1-1:2005/AC:2006 : E

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# INDICE


| | | | |
|---|---|---|---|
| | | **PREMESSA ALLA NORMA EN 1993-1-1** | 1 |
| **1** | | **GENERALITÀ** | 4 |
| 1.1 | | Scopo e campo di applicazione | 4 |
| 1.1.1 | | Scopo e campo di applicazione dell'Eurocodice 3 | 4 |
| 1.1.2 | | Scopo e campo di applicazione della Parte 1-1 dell'Eurocodice 3 | 5 |
| 1.2 | | Riferimenti normativi | 5 |
| 1.2.1 | | Riferimenti normativi generali | 6 |
| 1.2.2 | | Riferimenti normativi per acciaio strutturale saldabile | 6 |
| 1.3 | | Ipotesi | 6 |
| 1.4 | | Distinzione tra principi e regole applicative | 6 |
| 1.5 | | Termini e definizioni | 6 |
| 1.6 | | Simboli | 7 |
| 1.7 | | Convenzioni per gli assi della membratura | 14 |
| | figura 1.1 | Dimensioni e assi delle sezioni | 16 |
| **2** | | **CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE** | 17 |
| 2.1 | | Requisiti | 17 |
| 2.1.1 | | Requisiti fondamentali | 17 |
| 2.1.2 | | Gestione dell'affidabilità | 17 |
| 2.1.3 | | Vita utile di progetto, durabilità e robustezza | 17 |
| 2.2 | | Principi della progettazione agli stati limite | 18 |
| 2.3 | | Variabili fondamentali | 18 |
| 2.3.1 | | Azioni e influenze dell'ambiente | 18 |
| 2.3.2 | | Proprietà dei materiali e dei prodotti | 18 |
| 2.4 | | Verifica mediante il metodo del coefficiente parziale | 18 |
| 2.4.1 | | Valori di progetto delle proprietà del materiale | 18 |
| 2.4.2 | | Valori di progetto dei dati geometrici | 19 |
| 2.4.3 | | Resistenze di progetto | 19 |
| 2.4.4 | | Verifica dell'equilibrio statico (EQU) | 19 |
| 2.5 | | Progettazione assistita da prove | 19 |
| **3** | | **MATERIALI** | |
| 3.1 | | Generalità | 20 |
| 3.2 | | Acciaio strutturale | 20 |
| 3.2.1 | | Proprietà dei materiali | 20 |
| 3.2.2 | | Requisiti di duttilità | 20 |
| 3.2.3 | | Resistenza contro la rottura fragile | 20 |
| | prospetto 3.1 | Valori nominali della resistenza di snervamento $f_y$ e della resistenza ultima a trazione $f_u$ per acciai strutturali laminati a caldo | 21 |
| 3.2.4 | | Proprietà attraverso lo spessore | 21 |
| | prospetto 3.2 | Selezione della classe di qualità secondo la EN 10164 | 22 |
| 3.2.5 | | Tolleranze | 22 |
| 3.2.6 | | Valori di progetto dei coefficienti del materiale | 22 |
| 3.3 | | Elementi di giunzione | 22 |
| 3.3.1 | | Dispositivi di giunzione | 22 |
| 3.3.2 | | Materiali di apporto per saldature | 22 |
| 3.4 | | Altri prodotti prefabbricati negli edifici | 22 |
| **4** | | **DURABILITÀ** | 22 |
| **5** | | **ANALISI STRUTTURALE** | 23 |
| 5.1 | | Modellazione strutturale per l'analisi | 23 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.


5.1.1 Modellazione strutturale e ipotesi fondamentali ... 23
5.1.2 Modellazione dei collegamenti ... 23
5.1.3 Interazione suolo-struttura ... 23
5.2 Analisi globale ... 24
5.2.1 Effetti della geometria deformata della struttura ... 24
figura 5.1 Simbologia per 5.2.1(4) ... 25
5.2.2 Stabilità strutturale dei telai ... 25
5.3 Imperfezioni ... 27
5.3.1 Principi ... 27
5.3.2 Imperfezioni per l'analisi globale di telai ... 27
figura 5.2 Imperfezioni laterali equivalenti ... 28
prospetto 5.1 Valori di progetto dell'imperfezione locale in termini di curvatura iniziale $e_0/L$ per membratura ... 28
figura 5.3 Configurazione delle imperfezioni laterali $f$ per forze orizzontali agenti sui diaframmi di piano ... 29
figura 5.4 Sostituzione delle imperfezioni iniziali con forze orizzontali equivalenti ... 30
figura 5.5 Effetti traslazionali e torsionali (vista in pianta) ... 31
5.3.3 Imperfezioni per l'analisi dei sistemi di controvento ... 32
figura 5.6 Forza stabilizzante equivalente ... 33
figura 5.7 Forze nel controvento in corrispondenza di discontinuità in elementi compressi ... 34
5.3.4 Imperfezioni delle membrature ... 34
5.4 Metodi di analisi che considerano le non linearità del materiale ... 34
5.4.1 Generalità ... 34
5.4.2 Analisi elastica globale ... 35
5.4.3 Analisi plastica globale ... 35
figura 5.8 Relazione tensione-deformazione bi-lineare ... 36
5.5 Classificazione delle sezioni trasversali ... 36
5.5.1 Principi ... 36
5.5.2 Classificazione ... 36
5.6 Requisiti delle sezioni trasversali per l'analisi plastica globale ... 37
prospetto 5.2 Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi ... 39

**6 STATI LIMITE ULTIMI** 42
6.1 Generalità ... 42
6.2 Resistenza delle sezioni trasversali ... 42
6.2.1 Generalità ... 42
6.2.2 Proprietà delle sezioni ... 43
figura 6.1 Fori sfalsati e linee di rottura critiche 1 e 2 ... 44
figura 6.2 Angolari con fori in entrambe le ali ... 44
figura 6.3 Anima efficace di classe 2 ... 45
6.2.3 Trazione ... 46
6.2.4 Compressione ... 46
6.2.5 Momento flettente ... 47
6.2.6 Taglio ... 47
6.2.7 Torsione ... 49
6.2.8 Flessione e taglio ... 50
6.2.9 Flessione e forza assiale ... 51
6.2.10 Flessione, taglio e forza assiale ... 53
6.3 Resistenza delle membrature all'instabilità ... 53
6.3.1 Membrature compresse uniformemente ... 53
prospetto 6.1 Coefficienti di imperfezione per curve di instabilità ... 54
prospetto 6.2 Selezione della curva di instabilità per una sezione trasversale ... 55
figura 6.4 Curve di instabilità ... 56
6.3.2 Membrature uniformi inflesse ... 57

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.


| | | | |
|---|---|---|---|
| | prospetto | 6.3 | Valori raccomandati per i coefficienti di imperfezione relativi alle curve di instabilità flesso-torsionale ... 58 |
| | prospetto | 6.4 | Valori raccomandati per le curve di instabilità flesso-torsionale relative a sezioni trasversali utilizzando l'equazione (6.56) ... 58 |
| | prospetto | 6.5 | Raccomandazioni per la selezione delle curve di instabilità flesso-torsionale relative a sezioni trasversali utilizzando dell'equazione (6.57) ... 59 |
| | prospetto | 6.6 | Coefficiente di correzione $k_c$ ... 59 |
| 6.3.3 | | | Membrature uniformi soggette a flessione e compressione assiale ... 61 |
| | prospetto | 6.7 | Valori per $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ e $\Delta M_{i,Ed}$ ... 62 |
| 6.3.4 | | | Metodo generale per l'instabilità laterale e flesso-torsionale di componenti strutturali ... 62 |
| 6.3.5 | | | Instabilità flesso-torsionale di membrature con cerniere plastiche ... 63 |
| | figura | 6.5 | Tipico vincolo torsionale rigido ... 64 |
| | figura | 6.6 | Tipico vincolo laterale e torsionale fornito da una soletta all'ala compressa ... 64 |
| 6.4 | | | Membrature composte uniformi soggette a compressione ... 65 |
| 6.4.1 | | | Generalità ... 65 |
| | figura | 6.7 | Colonne composte uniformi con tralicci e calastrelli ... 66 |
| | figura | 6.8 | Tralicci su quattro lati e lunghezza di libera inflessione $L_{ch}$ dei correnti ... 66 |
| 6.4.2 | | | Membrature tralicciate compresse ... 68 |
| | figura | 6.9 | Rigidezza tagliante di tralicci di membrature composte ... 69 |
| | figura | 6.10 | Sistemi di tralicciatura a singola diagonale sulle facce opposte di una membratura composta avente due piani paralleli di tralicciature ... 70 |
| 6.4.3 | | | Membrature calastrellate compresse ... 70 |
| | figura | 6.11 | Momenti e forze in un pannello terminale di una membratura composta calastrellata ... 71 |
| | prospetto | 6.8 | Coefficiente di efficienza $\mu$ ... 72 |
| 6.4.4 | | | Membrature composte da elementi ravvicinati ... 72 |
| | figura | 6.12 | Membrature composte da elementi ravvicinati ... 72 |
| | prospetto | 6.9 | Massima distanza per i collegamenti in membrature composte da elementi ravvicinati o membrature in angolari calastrellati posti a croce 72 |
| | figura | 6.13 | Membrature in angolari calastrellati posti a croce ... 73 |
| **7** | | | **STATI LIMITE DI ESERCIZIO** 73 |
| 7.1 | | | Generalità ... 73 |
| 7.2 | | | Stati limite di esercizio per edifici ... 74 |
| 7.2.1 | | | Spostamenti verticali ... 74 |
| 7.2.2 | | | Spostamenti orizzontali ... 74 |
| 7.2.3 | | | Effetti dinamici ... 74 |
| **APPENDICE A** (informativa) | | | **METODO 1: COEFFICIENTI DI INTERAZIONE $\kappa_{ij}$ PER LA FORMULA DI INTERAZIONE NEL PUNTO 6.3.3(4)** 75 |
| | prospetto | A.1 | Coefficienti di interazione $k_{ij}$ [6.3.3(4)] ... 75 |
| | prospetto | A.2 | Coefficienti di momento costante equivalente $C_{mi,0}$ ... 76 |
| **APPENDICE B** (informativa) | | | **METODO 2: COEFFICIENTI DI INTERAZIONE $\kappa_{ij}$ PER LA FORMULA DI INTERAZIONE NEL PUNTO 6.3.3(4)** 77 |
| | prospetto | B.1 | Coefficienti di interazione $k_{ij}$ per membrature non soggette a deformazioni torsionali ... 77 |
| | prospetto | B.2 | Coefficienti di interazione $k_{ij}$ per membrature soggette a deformazioni torsionali ... 77 |
| | prospetto | B.3 | Coefficienti di momento costante equivalente $C_m$ nei prospetti B.1 e B.2 ... 78 |
| **APPENDICE AB** (informativa) | | | **DISPOSIZIONI PROGETTUALI AGGIUNTIVE** 79 |
| **APPENDICE BB** (informativa) | | | **INSTABILITÀ DI COMPONENTI DI STRUTTURE DI EDIFICI** 80 |
| | prospetto | BB.1 | Coefficiente $K_\vartheta$ che considera la distribuzione del momento e il tipo di vincolo ... 82 |
| | figura | BB.1 | Verifiche in una membratura senza rinforzi ... 84 |
| | figura | BB.2 | Verifiche in una membratura con tre piattabande di rinforzo ... 85 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.3 Verifiche in una membratura con due piattabande di rinforzo ..... 86
figura BB.4 Valore di $\beta_t$ ..... 90
figura BB.5 Valori dei momenti ..... 90
figura BB.6 Dimensioni definenti il coefficiente di rastremazione ..... 92

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## PREMESSA ALLA NORMA EN 1993-1-1

La presente norma EN 1993-1-1, Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio è stato elaborato dal Comitato Tecnico CEN/TC 250 "Eurocodici strutturali", la cui segreteria è affidata al BSI. Il CEN/TC 250 è responsabile per tutti gli Eurocodici Strutturali.

Alla presente norma europea deve essere attribuito lo status di norma nazionale, o mediante pubblicazione di un testo identico o mediante notifica di adozione, entro novembre 2005, e le norme nazionali in contrasto devono essere ritirate entro marzo 2010.

Il presente Eurocodice sostituisce la ENV 1993-1-1.

In conformità alle Regole Comuni CEN/CENELEC, gli enti nazionali di normazione dei seguenti Paesi sono tenuti a recepire la presente norma europea: Austria, Belgio, Cipro, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera e Ungheria.

**Cronistoria del programma degli Eurocodici**

Nel 1975, la Commissione delle Comunità Europee decise di attuare un programma di azioni nel settore delle costruzioni, sulla base dell'articolo 95 del Trattato. L'obiettivo del programma era l'eliminazione degli ostacoli tecnici al commercio e l'armonizzazione delle specifiche tecniche.

Nell'ambito di tale programma di azioni, la Commissione prese l'iniziativa di stabilire un insieme di regole tecniche armonizzate per la progettazione delle opere di costruzione che, in una prima fase, sarebbe servito come alternativa rispetto ai regolamenti nazionali in vigore negli Stati membri ed, alla fine, li avrebbe sostituiti.

Per quindici anni, la Commissione, con l'aiuto di un Comitato Direttivo composto da Rappresentanti degli Stati membri, ha provveduto allo sviluppo del programma degli Eurocodici, che ha portato alla stesura della prima generazione di codici Europei negli anni '80.

Nel 1989, la Commissione e gli Stati membri della UE e della EFTA decisero, in base ad un accordo[1)] tra la Commissione ed il CEN, di trasferire il compito della preparazione e della pubblicazione degli Eurocodici al CEN attraverso una serie di Mandati, con l'obiettivo di attribuire ad essi nel futuro lo status di Norme Europee (EN). Questa decisione lega *de facto* gli Eurocodici alle prescrizioni di tutte le Direttive del Consiglio e/o le Decisioni della Commissione relative alle norme eEuropee (per esempio, la Direttiva del Consiglio 89/106/EEC sui prodotti da costruzione - CPD - e le Direttive del Consiglio 93/37/EEC, 92/50/EEC e 89/440/EEC sui lavori e sui servizi pubblici e le analoghe Direttive EFTA predisposte con l'obiettivo di stabilire il mercato interno).

Il programma degli Eurocodici Strutturali comprende le seguenti norme, generalmente composte da un certo numero di Parti:

| | | |
|---|---|---|
| EN 1990 | Eurocode: | Basis of structural design |
| EN 1991 | Eurocode 1: | Actions on structures |
| EN 1992 | Eurocode 2: | Design of concrete structures |
| EN 1993 | Eurocode 3: | Design of steel structures |
| EN 1994 | Eurocode 4: | Design of composite steel and concrete structures |
| EN 1995 | Eurocode 5: | Design of timber structures |
| EN 1996 | Eurocode 6: | Design of masonry structures |
| EN 1997 | Eurocode 7: | Geotechnical design |
| EN 1998 | Eurocode 8: | Design of structures for earthquake resistance |
| EN 1999 | Eurocode 9: | Design of aluminium structures |

1) Accordo tra la Commissione delle Comunità Europee ed il Comitato Europeo di Normazione (CEN) concernente il lavoro sugli Eurocodici relativi alla progettazione di edifici e di opere di ingegneria civile (BC/CEN/03/89).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Gli Eurocodici riconoscono la responsabilità delle autorità regolamentari in ogni Stato membro ed hanno salvaguardato il loro diritto a determinare a livello nazionale valori correlati ad aspetti di sicurezza regolaemntari, potendo essi variare da Stato a Stato.

**Status e campo di applicazione degli Eurocodici**

Gli Stati membri della UE e della EFTA riconoscono che gli Eurocodici servono come documenti di riferimento per i seguenti scopi:

- come un mezzo per verificare la rispondenza degli edifici e delle opere di ingegneria civile ai requisiti essenziali della Direttiva del Consiglio 89/106/EEC, in particolare il Requisito Essenziale N° 1 - Resistenza meccanica e stabilità - ed il Requisito Essenziale N° 2 - Sicurezza in caso di incendio;
- come una base per la redazione dei contratti relativi ai lavori di costruzione ed ai servizi di ingegneria correlati;
- come un quadro di riferimento per definire specifiche tecniche armonizzate per i prodotti da costruzione (EN e ETA).

Gli Eurocodici, poiché riguardano le opere di costruzione stesse, sono in relazione diretta con i Documenti Interpretativi[2)] a cui si fa riferimento nell'Articolo 12 della CPD, sebbene siano di natura differente rispetto alle norme armonizzate di prodotto[3)]. Pertanto, gli aspetti tecnici che scaturiscono dal lavoro degli Eurocodici devono essere presi in adeguata considerazione dai Comitati Tecnici CEN e/o dai Gruppi di Lavoro EOTA che lavorano sulle norme di prodotto, nell'intento di ottenere una piena compatibilità di queste specifiche tecniche con gli Eurocodici.

Gli Eurocodici forniscono regole comuni per la progettazione strutturale, di uso corrente, nella progettazione di strutture, nel loro complesso, e di componenti strutturali, di tipologia tradizionale o innovativa. Forme di costruzione o condizioni di progetto inusuali non sono trattate in modo specifico; per tali casi è richiesto dal progettista il contributo aggiuntivo da parte di esperti.

**Norme Nazionali che implementano gli Eurocodici**

Le norme nazionali che implementano gli Eurocodici contengono il testo completo dell'Eurocodice (comprese tutte le appendici), così come pubblicato dal CEN, il quale può essere preceduto da una copertina nazionale e da una premessa Nazionale, e può essere seguito da una appendice nazionale (informativa).

L'appendice nazionale (informativa) può contenere solo informazioni su quei parametri, noti come Parametri Determinati a livello Nazionale, che in ogni Eurocodice sono lasciati aperti ad una scelta a livello Nazionale, da impiegarsi nella progettazione degli edifici e delle opere di ingegneria civile da realizzarsi nella singola nazione, cioè:

- valori e/o classi per i coefficienti parziali per i quali nell'Eurocodice sono fornite alternative;
- valori da impiegare, per i quali nell'Eurocodice è fornito solo un simbolo;
- dati geografici e climatici specifici del singolo Stato membro, per esempio, la mappa della neve;
- la procedura da impiegare quando nell'Eurocodice ne sono proposte diverse in alternativa;
- riferimenti ad informazioni complementari non contraddittorie che aiutino l'utente ad applicare l'Eurocodice.

2) Secondo l'Art. 3.3 della CPD, i requisiti essenziali (ER) sono precisati in documenti interpretativi destinati a stabilire i collegamenti necessari tra i requisiti essenziali ed i mandati per le norme armonizzate EN e ETAG/ETA.

3) Secondo l'Art. 12 della CPD, i documenti interpretativi devono:

a) precisare i requisiti essenziali armonizzando la terminologia e i concetti tecnici di base, ed indicando classi o livelli per ciascun requisito ove necessario;

b) indicare metodi per correlare queste classi o livelli di requisiti alle specifiche tecniche, per esempio metodi di calcolo e di verifica, regole tecniche per la progettazione, ecc.;

c) servire come riferimento per stabilire norme armonizzate e orientamenti per i benestari tecnici europei.

Gli Eurocodici, *de facto*, ricoprono un ruolo simile nel campo dell'ER 1 e di una parte dell'ER 2.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

**Collegamenti tra gli Eurocodici e le specifiche tecniche armonizzate (EN e ETA) relative ai prodotti**

Sussiste la necessità di coerenza tra le specifiche tecniche armonizzate per i prodotti da costruzione e le regole tecniche per le opere[4)]. Inoltre tutte le informazioni che accompagnano la marcatura CE dei prodotti da costruzione che fanno riferimento agli Eurocodici dovrebbero menzionare chiaramente quali parametri determinati a livello nazionale sono stati presi in conto.

**Informazioni aggiuntive specifiche per la EN 1993-1**

La EN 1993 è destinata a essere utilizzata con gli Eurocodici EN 1990 "Basis of Structural Design", EN 1991 "Actions on structures" e con gli Eurocodici da EN 1992 ad EN 1999, quando si fa riferimento a strutture di acciaio o a componenti di acciaio.

La EN 1993-1 è la prima di sei parti della EN 1993 "Design of Steel Structures". Essa fornisce regole di progettazione generali previste per essere impiegate con le altre parti da EN 1993-2 ad EN 1993-6. Essa fornisce anche regole supplementari applicabili solo agli edifici.

La EN 1993-1 comprende dodici sottoparti da EN 1993-1-1 ad EN 1993-1-12 ognuna delle quali indirizzata a specifici componenti di acciaio, stati limite o materiali.

Essa può anche essere utilizzata per i casi di progettazione non trattati dagli Eurocodici (altre strutture, altre azioni, altri materiali) nell'ambito dei lavori di altri Comitati Tecnici del CEN riguardanti aspetti strutturali.

La EN 1993-1 è destinata a essere utilizzata da:

- comitati preposti all'elaborazione di norme di progettazione di prodotto, norme di prova, norme di esecuzione;
- committenti (per esempio per la formulazione dei loro requisiti specifici);
- progettisti e costruttori;
- autorità pertinenti.

I valori numerici dei coefficienti parziali e degli alti parametri di affidabilità sono raccomandati come valori base che forniscono un accettabile livello di affidabilità. Essi sono stati selezionati ipotizzando che sia adottato un livello adeguato di manodopera e di gestione della qualità.

**Appendice Nazionale per la EN 1993-1-1**

La presente norma fornisce valori, con note che indicano dove possono essere applicate scelte a livello nazionale. Di conseguenza la norma nazionale che implementa la EN 1993-1 dovrebbe avere una appendice nazionale contenente tutti i parametri determinati a livello nazionale da impiegare nella progettazione delle strutture di acciaio e di opere di ingegneria civile da realizzarsi nel territorio interessato.

Una scelta a livello nazionale è permessa nella EN 1993-1-1 attraverso i seguenti punti:

- 2.3.1(1)
- 3.1(2)
- 3.2.1(1)
- 3.2.2(1)
- 3.2.3(1)
- 3.2.3(3)B
- 3.2.4(1)B
- 5.2.1(3)
- 5.2.2(8)
- 5.3.2(3)
- 5.3.2(11)
- 5.3.4(3)

4) Vedere l'Art. 3.3 e l'Art. 12 del CPD, così come 4.2, 4.3.1, 4.3.2 e 5.2 dell'ID 1.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

- 6.1(1)
- 6.1(1)B
- 6.3.2.2(2)
- 6.3.2.3(1)
- 6.3.2.3(2)
- 6.3.2.4(1)B
- 6.3.2.4(2)B
- 6.3.3(5)
- 6.3.4(1)
- 7.2.1(1)B
- 7.2.2(1)B
- 7.2.3(1)B
- BB.1.3(3)B

# 1 GENERALITÀ

## 1.1 Scopo e campo di applicazione

### 1.1.1 Scopo e campo di applicazione dell'Eurocodice 3

(1) L'Eurocodice 3 si applica alla progettazione di edifici e di opere di ingegneria civile di acciaio. Esso è conforme ai principi e ai requisiti per la sicurezza e per l'esercizio di strutture, ai criteri generali della loro progettazione e della loro verifica che sono date nella EN 1990 "Basis of structural design".

(2) L'Eurocodice 3 si applica solo ai requisiti di resistenza, esercizio, durabilità e resistenza al fuoco di strutture di acciaio. Altri requisiti, per esempio quelli dell'isolamento termico o acustico, non sono considerati.

(3) È previsto che l'Eurocodice 3 sia utilizzato insieme con:

- EN 1990 Basis of structural design;
- EN 1991 Actions on structures;
- altre EN, ETAG e ETA riguardanti prodotti da costruzione pertinenti con le strutture di acciaio;
- EN 1090 Execution of Steel Structures - Technical requirements;
- dalla EN 1992 alla EN 1999 quando a esse si riferiscono strutture o componenti di acciaio.

(4) L'Eurocodice 3 è suddiviso in varie parti:

EN 1993-1 Design of Steel Structures: General rules and rules for buildings

EN 1993-2 Design of Steel Structures: Steel bridges

EN 1993-3 Design of Steel Structures: Towers, masts and chimneys

EN 1993-4 Design of Steel Structures: Silos, tanks and pipelines

EN 1993-5 Design of Steel Structures: Piling

EN 1993-6 Design of Steel Structures: Crane supporting structures

(5) Le parti dalla EN 1993-2 alla EN 1993-6 fanno riferimento alle regole generali della EN 1993-1. Le regole nelle parti dalla EN 1993-2 alla EN 1993-6 sono supplementari alle regole generali della EN 1993-1.

(6) La EN 1993-1 "General rules and rules for buildings" comprende:

EN 1993-1-1 Design of Steel Structures: General rules and rules for buildings

EN 1993-1-2 Design of Steel Structures: Structural fire design

EN 1993-1-3 Design of Steel Structures: Cold-formed members and sheeting

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

EN 1993-1-4 Design of Steel Structures: Stainless steels

EN 1993-1-5 Design of Steel Structures: Plated structural elements

EN 1993-1-6 Design of Steel Structures: Strength and stability of shell structures

EN 1993-1-7 Design of Steel Structures: Strength and stability of planar plated structures transversely loaded

EN 1993-1-8 Design of Steel Structures: Design of joints

EN 1993-1-9 Design of Steel Structures: Fatigue strength of steel structures

EN 1993-1-10 Design of Steel Structures: Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties

EN 1993-1-11 Design of Steel Structures: Design of structures with tension components made of steel

EN 1993-1-12 Design of Steel Structures: Supplementary rules for high strength steel

### 1.1.2 Scopo e campo di applicazione della Parte 1-1 dell'Eurocodice 3

(1) La EN 1993-1-1 fornisce regole di progettazione generali per strutture di acciaio con spessori del materiale $t \geq 3$ mm. Essa fornisce anche disposizioni supplementari per la progettazione strutturale di edifici di acciaio. Queste disposizioni supplementari sono indicate dalla lettera "B" dopo il numero del paragrafo, quindi ( )B.

Nota Per profilati e lastre formati a freddo vedere EN 1993-1-3.

(2) Nella EN 1993-1-1 vengono trattati i seguenti argomenti:

Capitolo 1: Generalità

Capitolo 2: Criteri generali di progettazione

Capitolo 3: Materiali

Capitolo 4: Durabilità

Capitolo 5: Analisi strutturale

Capitolo 6: Stati limite ultimi

Capitolo 7: Stati limite di esercizio

(3) Le Sezioni da 1 a 2 forniscono punti aggiuntivi a quelli forniti nella EN 1990 "Basis of structural design".

(4) La Sezione 3 tratta le proprietà del materiale e dei prodotti realizzati con acciai strutturali debolmente legati.

(5) La Sezione 4 fornisce regole generali per la durabilità.

(6) La Sezione 5 tratta l'analisi strutturale di strutture per le quali, nell'analisi globale, le membrature possono essere modellate con sufficiente accuratezza come elementi monodimensionali.

(7) La Sezione 6 fornisce regole dettagliate per la progettazione di sezioni trasversali e di membrature.

(8) La Sezione 7 fornisce regole per le verifiche in condizioni di esercizio.

## 1.2 Riferimenti normativi

La presente norma europea rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenuti in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente norma europea come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

### 1.2.1 Riferimenti normativi generali

| | |
|---|---|
| EN 1090 | Execution of steel structures - Technical requirements |
| EN ISO 12944 | Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems |
| EN ISO 1461 | Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods |

### 1.2.2 Riferimenti normativi per acciaio strutturale saldabile

| | |
|---|---|
| EN 10025-1:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 1: General delivery conditions |
| EN 10025-2:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels |
| EN 10025-3:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels |
| EN 10025-4:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels |
| EN 10025-5:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance |
| EN 10025-6:2004 | Hot-rolled products of structural steels - Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition |
| EN 10164:1993 | Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product -Technical delivery conditions |
| EN 10210-1:1994 | Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels - Part 1: Technical delivery requirements |
| EN 10219-1:1997 | Cold formed hollow sections of structural steel - Part 1: Technical delivery requirements |

## 1.3 Ipotesi

(1) In aggiunta alle ipotesi generali dalla EN 1990 valgono le seguenti ipotesi:

- fabbricazione e costruzione conforme alla EN 1090.

## 1.4 Distinzione tra principi e regole applicative

(1) Valgono le regole della EN 1990 punto 1.4.

## 1.5 Termini e definizioni

(1) Valgono le regole della EN 1990 punto 1.5.

(2) I seguenti termini e definizioni sono utilizzati nella EN 1993-1-1 con il significato seguente:

**1.5.1** **telaio**: L'intera struttura o una porzione di essa, comprendente un insieme di elementi strutturali direttamente collegati, progettati per funzionare insieme resistendo ai carichi. Questo termine si riferisce sia ai telai a nodi rigidi sia ai telai triangolarizzati. Esso riguarda telai sia piani sia spaziali.

**1.5.2** **sotto-struttura a telaio**: Un telaio facente parte di uno più grande, ma che in una analisi strutturale è trattato come un telaio isolato.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

1.5.3 **tipologia del telaio**: Termine utilizzato per distinguere i telai che possono essere in alternativa:

- **semi-continui**, nei quali le proprietà strutturali delle membrature e dei collegamenti necessitano di esplicita considerazione nell'analisi globale;
- **continui**, nei quali solo le proprietà strutturali delle membrature necessitano di essere considerate nell'anailsi globale;
- **semplici**, nei quali non è richiesto che i collegamenti resistano a flessione.

1.5.4 **analisi globale**: La determinazione di un gruppo congruente di sollecitazioni interne in una struttura, in equilibrio con un gruppo particolare di azioni sulla struttura.

1.5.5 **lunghezza di sistema**: Distanza in un piano assegnato fra due punti adiacenti in corrispondenza dei quali la membratura è controventata rispetto agli spostamenti laterali in tale piano, o fra uno di tali punti e l'estremità della membratura.

1.5.6 **lunghezza di libera inflessione**: Lunghezza di sistema della membratura avente le estremità incernierate, ma per il resto simile, la quale ha la stessa resistenza all'instabilità di una assegnata membratura o di un assegnato tratto di membratura.

1.5.7 **effetto di diffusione del carico per taglio ("shear lag effect")**: Distribuzione di tensione non uniforme nelle ali larghe dovuta alla deformazione tagliante. Nelle verifiche di sicurezza esso e tenuto in conto utilizzando una larghezza dell'ala "efficace" ridotta.

1.5.8 **progettazione basata sul criterio di gerarchia ("capacity design")**: Metodo di progettazione per ottenere la capacità di deformazione plastica di una membratura fornendo resistenza aggiuntiva alle sue connessioni e alle altre parti a essa connesse.

1.5.9 **membratura uniforme**: Membratura con sezione trasversale costante lungo tutta la sua lunghezza.

## 1.6 Simboli

(1) Ai fini della presente norma si applicano i seguenti simboli.

(2) Simboli aggiuntivi sono definiti laddove essi appaiono per la prima volta.

Nota I simboli sono ordinati secondo l'ordine di apparizione nella EN 1993-1-1. I simboli possono avere differenti significati.

*Sezione 1*

x-x asse lungo la membratura

y-y asse della sezione trasversale

z-z asse della sezione trasversale

u-u asse principale maggiore (qualora non coincida con l'asse y-y)

v-v asse principale minore (qualora non coincida con l'asse z-z)

$b$ larghezza della sezione trasversale

$h$ altezza della sezione trasversale

$d$ altezza della parte piana dell'anima

$t_w$ spessore dell'anima

$t_f$ spessore dell'ala

$r$ raggio di raccordo

$r_1$ raggio di raccordo

$r_2$ raggio di raccordo

$t$ spessore

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

*Sezione 2*

$P_k$ valore nominale dell'effetto della precompressione imposta durante la costruzione

$G_k$ valore nominale dell'effetto delle azioni permanenti

$X_k$ valore caratteristico della proprietà del materiale

$X_n$ valore nominale della proprietà del materiale

$R_d$ valore di progetto della resistenza

$R_k$ valore caratteristico della resistenza

$\gamma_M$ coefficiente parziale generale

$\gamma_{Mi}$ coefficiente parziale particolare

$\gamma_{Mf}$ coefficiente parziale per fatica

$\eta$ coefficiente di conversione

$a_d$ valore di progetto di un dato geometrico

*Sezione 3*

$f_y$ resistenza di snervamento

$f_u$ resistenza ultima

$R_{eH}$ resistenza di snervamento per norme di prodotto

$R_m$ resistenza ultima per norme di prodotto

$A_0$ area della sezione trasversale originaria

$\varepsilon_y$ deformazione allo snervamento

$\varepsilon_u$ deformazione ultima

$Z_{Ed}$ valore $Z$ di progetto richiesto, risultante dall'ampiezza delle deformazioni derivanti dal ritiro impedito del metallo al di sotto dei cordoni di saldatura

$Z_{Rd}$ valore $Z$ di progetto disponibile

$E$ modulo di elasticità

$G$ modulo di taglio

$\nu$ coefficiente di Poisson in campo elestico

$\alpha$ coefficiente di dilatazione termica lineare

*Sezione 5*

$\alpha_{cr}$ coefficiente per cui i carichi di progetto sarebbero da incrementare per provocare l'instabilità elastica secondo un modo globale

$F_{Ed}$ carico di progetto sulla struttura

$F_{cr}$ carico critico di instabilità elastica per un modo di instabilità globale basato sulle rigidezze iniziali elastiche

$H_{Ed}$ carico orizzontale totale di progetto, incluse le forze equivalenti trasferito dal piano (taglio di piano)

$V_{Ed}$ carico verticale totale di progetto sul telaio trasferito dal piano (spinta di piano)

$\delta_{H,Ed}$ spostamento orizzontale di calcolo della parte superiore di un piano rispetto alla parte inferiore del piano

$h$ altezza di piano

$\bar{\lambda}$ snellezza adimensionale

$N_{Ed}$ valore di progetto della forza assiale

$\phi$ imperfezione laterale globale iniziale

$\phi_0$ valore base della imperfezione laterale globale iniziale

$\alpha_h$ coefficiente di riduzione per l'altezza $h$ applicabile alle colonne

$h$ altezza della struttura

$\alpha_m$ coefficiente di riduzione per il numero di colonne in una fila

$m$ numero di colonne in una fila

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

$e_0$ massima ampiezza dell'imperfezione della membratura

$L$ lunghezza della membratura

$\eta_{init}$ ampiezza del modo di instabilità critica elastica

$\eta_{cr}$ forma del modo di instabilità critica elastica

$e_{0,d}$ valore di progetto della massima ampiezza dell'imperfezione della membratura

$M_{Rk}$ valore caratteristico del momento resistente della sezione trasversale critica

$N_{Rk}$ valore caratteristico della resistenza allo sforzo normale della sezione trasversale critica

$\alpha$ coefficiente di imperfezione

$EI\eta''_{cr}$ momento flettente nella sezione trasversale critica dovuto a $\eta_{cr}$

$\chi$ coefficiente di riduzione per la curva di instabilità pertinente

$\alpha_{ult,k}$ minimo amplificatore dei carichi di progetto per raggiungere la resistenza caratteristica della sezione trasversale maggiormente critica del componente strutturale considerando il suo comportamento nel piano trascurando l'instabilità laterale o flesso-torsionale e considerando tutti gli effetti dovuti a deformazioni e imperfezioni geometriche globali e locali agenti nel piano, qualora siano pertinenti

$\alpha_{cr}$ minimo amplificatore della forza per raggiungere il carico di instabilità critica elastica

$q$ forza equivalente per unità di lunghezza

$\delta_q$ spostamento nel piano di un sistema di controventamento

$q_d$ forza equivalente di progetto per unità di lunghezza

$M_{Ed}$ valore di progetto del momento flettente

$k$ coefficiente per $e_{0,d}$

$\varepsilon$ deformazione

$\sigma$ tensione

$\sigma_{com,Ed}$ tensione di compressione massima di progetto in un elemento

$\ell$ lunghezza

$\varepsilon$ coefficiente dipendente da $f_y$

$c$ larghezza o altezza di una porzione della sezione trasversale

$\alpha$ porzione di una parte di sezione trasversale soggetta a compressione

$\psi$ rapporto di tensione o di deformazione

$k_\sigma$ coefficiente di instabilità della lastra

$d$ diametro esterno della sezione tubolare circolare

*Sezione 6*

$\gamma_{M0}$ coefficiente parziale per la resistenza della sezione trasversale per qualunque classe di appartenenza

$\gamma_{M1}$ coefficiente parziale per la resistenza all'instabilità valutata mediante controlli delle membrature

$\gamma_{M2}$ coefficiente parziale per la resistenza di rottura della sezione trasversale soggetta a trazione

$\sigma_{x,Ed}$ valore di progetto della tensione longitudinale locale

$\sigma_{z,Ed}$ valore di progetto della tensione trasversale locale

$\tau_{Ed}$ valore di progetto della tensione tangenziale locale

$N_{Ed}$ forza assiale di progetto

$M_{y,Ed}$ momento flettente di progetto, asse y-y

$M_{z,Ed}$ momento flettente di progetto, asse z-z

$N_{Rd}$ valore di progetto della resistenza allo sforzo normale

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

| | |
|---|---|
| $M_{y,Rd}$ | valore di progetto della resistenza a flessione, asse y-y |
| $M_{z,Rd}$ | valore di progetto della resistenza a flessione, asse z-z |
| $s$ | passo dei fori sfalsati, l'interasse di due fori consecutivi misurato parallelamente all'asse della membratura |
| $p$ | interasse di due fori consecutivi misurato perpendicolarmente all'asse della membratura |
| $n$ | numero di fori che si sviluppa progressivamente lungo una linea diagonale o una spezzata della membratura o di una parte di membratura |
| $d_0$ | diametro del foro |
| $e_N$ | eccentricità del baricentro dell'area efficace $A_{eff}$ rispetto al baricentro della sezione trasversale lorda |
| $\Delta M_{Ed}$ | momento aggiuntivo prodotto dall'eccentricità del baricentro dell'area efficace $A_{eff}$ rispetto al baricentro della sezione trasversale lorda |
| $A_{eff}$ | area efficace della sezione trasversale |
| $N_{t,Rd}$ | valori di progetto della resistenza a trazione |
| $N_{pl,Rd}$ | resistenza plastica di progetto a sforzo normale della sezione trasversale lorda |
| $N_{u,Rd}$ | resistenza ultima di progetto a sforzo normale della sezione trasversale netta in corrispondenza di fori per dispositivi di giunzione |
| $A_{net}$ | area netta della sezione trasversale |
| $N_{net,Rd}$ | resistenza plastica di progetto a sforzo normale della sezione trasversale netta |
| $N_{c,Rd}$ | resistenza di progetto a sforzo normale della sezione trasversale per compressione uniforme |
| $M_{c,Rd}$ | resistenza di progetto a flessione intorno ad un asse principale di una sezione trasversale |
| $W_{pl}$ | modulo plastico della sezione |
| $W_{el,min}$ | modulo di resistenza elastico minimo della sezione |
| $W_{eff,min}$ | modulo di resistenza efficace minimo della sezione |
| $A_f$ | area dell'ala tesa |
| $A_{f,net}$ | area netta dell'ala tesa |
| $V_{Ed}$ | valore di progetto della sollecitazione di taglio |
| $V_{c,Rd}$ | valore di progetto della resistenza a taglio |
| $V_{pl,Rd}$ | valore di progetto della resistenza plastica a taglio |
| $A_v$ | area resistente a taglio |
| $\eta$ | coefficiente per l'area resistente a taglio |
| $S$ | momento statico |
| $I$ | momento di inerzia |
| $A$ | area della sezione trasversale |
| $A_w$ | area di un'anima |
| $A_f$ | area di un'ala |
| $T_{Ed}$ | valore di progetto della sollecitazione torcente totale |
| $T_{Rd}$ | valore di progetto della resistenza a momento torcente |
| $T_{t,Ed}$ | valore di progetto della sollecitazione torcente primaria |
| $T_{w,Ed}$ | valore di progetto della sollecitazione torcente secondaria |
| $\tau_{t,Ed}$ | valore di progetto delle tensioni taglianti dovute alla torsione primaria |
| $\tau_{w,Ed}$ | valore di progetto delle tensioni taglianti dovute alla torsione secondaria |
| $\sigma_{w,Ed}$ | valore di progetto delle tensioni normali dovute al bimomento $B_{Ed}$ |
| $B_{Ed}$ | valore di progetto del bimomento |
| $V_{pl,T,Rd}$ | resistenza plastica di progetto a taglio ridotta per effetto della presenza di un momento torcente |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

| | |
|---|---|
| $\rho$ | coefficiente di riduzione che consente di determinare i valori di progetto delle resistenze a flessione ridotti per effetto della presenza di sollecitazioni di taglio |
| $M_{V,,Rd}$ | valore di progetto della resistenza a flessione ridotto per effetto della presenza di sollecitazioni di taglio |
| $M_{N,,Rd}$ | valore di progetto della resistenza a flessione ridotto per effetto della presenza di sforzi normali |
| $n$ | rapporto tra sforzo normale di progetto e resistenza plastica di progetto a sforzo normale della sezione trasversale lorda |
| $a$ | rapporto tra l'area dell'anima e l'area lorda |
| $\alpha$ | parametro che introduce l'effetto della flessione biassiale |
| $\beta$ | parametro che introduce l'effetto della flessione biassiale |
| $e_{N,y}$ | eccentricità del baricentro dell'area efficace $A_{eff}$ rispetto al baricentro della sezione trasversale lorda (asse y-y) |
| $e_{N,z}$ | eccentricità del baricentro dell'area efficace $A_{eff}$ rispetto al baricentro della sezione trasversale lorda (asse z-z) |
| $W_{eff,min}$ | modulo di resistenza efficace minimo |
| $N_{b,Rd}$ | resistenza di progetto per instabilità della membratura compressa |
| $\chi$ | coefficiente di riduzione per il modo instabile pertinente |
| $\Phi$ | valore per la determinazione del coefficiente di riduzione |
| $a_0$, $a$, $b$, $c$, $d$ | indici delle classi per le curve di instabilità |
| $N_{cr}$ | carico critico elastico per il modo instabile pertinente basato sulle proprietà della sezione trasversale lorda |
| $i$ | raggio di inerzia intorno all'asse pertinente determinato utilizzando le proprietà della sezione trasversale lorda |
| $\lambda_1$ | valore della snellezza per determinare la snellezza relativa |
| $\bar{\lambda}_T$ | snellezza relativa per instabilità torsionale o flesso-torsionale |
| $N_{cr,TF}$ | carico critico elastico per instabilità torsionale-flessionale |
| $N_{cr,T}$ | carico critico elastico per instabilità torsionale |
| $M_{b,Rd}$ | momento resistente di progetto per instabilità |
| $\chi_{LT}$ | coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale |
| $\Phi_{LT}$ | valore per determinare il coefficiente di riduzione $\chi_{LT}$ |
| $\alpha_{LT}$ | coefficiente di imperfezione |
| $\bar{\lambda}_{LT}$ | snellezza adimensionale per instabilità flesso-torsionale |
| $M_{cr}$ | momento critico elastico per l'instabilità flesso-torsionale |
| $\bar{\lambda}_{LT,0}$ | lunghezza del tratto orizzontale delle curve di instabilità flesso-torsionale per sezioni laminate e saldate |
| $\beta$ | coefficiente di correzione per le curve di instabilità flesso-torsionale per sezioni laminate e saldate |
| $\chi_{LT,mod}$ | coefficiente di riduzione modificato per instabilità flesso-torsionale |
| $f$ | coefficiente di modifica per $\chi_{LT}$ |
| $k_c$ | coefficiente di correzione per la distribuzione del momento |
| $\Psi$ | rapporto dei momenti nel tratto di membratura |
| $L_c$ | distanza tra vincoli laterali |
| $\bar{\lambda}_F$ | snellezza dell'ala compressa equivalente |
| $i_{f,z}$ | raggio di inerzia dell'ala compressa intorno all'asse minore della sezione |
| $I_{eff,f}$ | momento di inerzia efficace dell'area dell'ala compressa intorno all'asse minore della sezione |
| $A_{eff,f}$ | area efficace dell'ala compressa |
| $A_{eff,w,c}$ | area efficace della parte compressa dell'anima |
| $\bar{\lambda}_{c0}$ | parametro di snellezza |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

$k_{f\ell}$ coefficiente di modifica

$\Delta M_{y,Ed}$ momenti dovuti all'eccentricità dell'asse baricentrico y-y

$\Delta M_{z,Ed}$ momenti dovuti all'eccentricità dell'asse baricentrico z-z

$\chi_y$ coefficiente di riduzione dovuto all'instabilità flessionale (asse y-y)

$\chi_z$ coefficiente di riduzione dovuto all'instabilità flessionale (asse z-z)

$k_{yy}$ coefficiente di interazione

$k_{yz}$ coefficiente di interazione

$k_{zy}$ coefficiente di interazione

$k_{zz}$ coefficiente di interazione

$\overline{\lambda}_{op}$ snellezza globale adimensionale di un componente strutturale per instabilità fuori dal piano

$\chi_{op}$ coefficiente di riduzione per la snellezza adimensionale $\overline{\lambda}_{op}$

$\alpha_{ult,k}$ amplificatore minimo dei carichi di progetto per il quale si raggiunge la resistenza caratteristica nella sezione trasversale più sollecitata

$\alpha_{cr,op}$ amplificatore minimo dei carichi di progetto agenti nel piano per il quale si raggiunge il carico critico di instabilità elastica per instabilità laterale o flesso-torsionale

$N_{Rk}$ valore caratteristico della resistenza a compressione

$M_{y,Rk}$ valore caratteristico della resistenza a flessione intorno all'asse y-y

$M_{z,Rk}$ valore caratteristico della resistenza a flessione intorno all'asse z-z

$Q_m$ forza locale applicata a ogni membratura stabilizzata in corrispondenza delle cerniere plastiche

$L_{stable}$ lunghezza stabile del tratto di membratura

$L_{ch}$ lunghezza di libera inflessione del corrente

$h_0$ distanza degli assi di simmetria dei correnti della colonna composta

$a$ distanza tra i vincoli dei correnti

$\alpha$ angolo tra gli assi dei correnti e dei tralicci

$i_{min}$ raggio di inerzia minimo di angolari singoli

$A_{ch}$ area di un corrente della colonna composta

$N_{ch,Ed}$ forza di progetto agente nel corrente in corrispondenza della sezione di mezzeria della membratura composta

$M^{I}_{Ed}$ valore di progetto del massimo momento del primo ordine in corrispondenza della sezione di mezzeria della membratura composta

$I_{eff}$ momento d'inerzia efficace della membratura composta

$S_v$ rigidezza tagliante della membratura composta da tralicci o calastrelli

$n$ numero di piani dei tralicci o dei calastrelli

$A_d$ area della diagonale di una colonna composta

$d$ lunghezza della diagonale di una colonna composta

$A_V$ area del montante (o elemento trasversale) di una colonna composta

$I_{ch}$ momento di inerzia nel piano di un corrente

$I_b$ momento di inerzia nel piano di un calastrello

$\mu$ coefficiente di efficienza

$i_y$ raggio di inerzia (asse y-y)

*Appendice A*

$C_{my}$ coefficiente di momento costante equivalente

$C_{mz}$ coefficiente di momento costante equivalente

$C_{mLT}$ coefficiente di momento costante equivalente

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

$\mu_y$ coefficiente

$\mu_z$ coefficiente

$N_{cr,y}$ carico critico elastico per instabilità flessionale intorno all'asse y-y

$N_{cr,z}$ carico critico elastico per instabilità flessionale intorno all'asse z-z

$C_{yy}$ coefficiente

$C_{yz}$ coefficiente

$C_{zy}$ coefficiente

$C_{zz}$ coefficiente

$w_y$ coefficiente

$w_z$ coefficiente

$n_{pl}$ coefficiente

$\overline{\lambda}_{max}$ massimo di $\overline{\lambda}_y$ e $\overline{\lambda}_z$

$b_{LT}$ coefficiente

$c_{LT}$ coefficiente

$d_{LT}$ coefficiente

$e_{LT}$ coefficiente

$\psi_y$ rapporto tra i momenti di estremità (asse y-y)

$C_{my,0}$ coefficiente

$C_{mz,0}$ coefficiente

$a_{LT}$ coefficiente

$I_T$ momento di inerzia torsionale primario

$I_y$ momento di inerzia intorno all'asse y-y

$C_1$ rapporto tra il momento flettente critico (il valore maggiore lungo la membratura) e il momento flettente costante critico per una membratura con supporti incernierati

$M_{i,Ed}(x)$ massimo momento del primo ordine

$|\delta_x|$ massimo spostamento della membratura lungo il suo sviluppo

*Appendice B*

$\alpha_s$ coefficiente; s = tensione delle fibre inferiori

$\alpha_h$ coefficiente; h = tensione delle fibre superiori

$C_m$ coefficiente di momento costante equivalente

*Appendice AB*

$\gamma_G$ coefficiente parziale per carichi permanenti

$G_k$ valore caratteristico dei carichi permanenti

$\gamma_Q$ coefficiente parziale per carichi variabili

$Q_k$ valore caratteristico dei carichi variabili

*Appendice BB*

$\overline{\lambda}_{eff,v}$ rapporto di snellezza efficace per instabilità intorno all'asse v-v

$\overline{\lambda}_{eff,y}$ rapporto di snellezza efficace per instabilità intorno all'asse y-y

$\overline{\lambda}_{eff,z}$ rapporto di snellezza efficace per instabilità intorno all'asse z-z

$L$ lunghezza di sistema

$L_{cr}$ lunghezza di libera inflessione

$S$ rigidezza tagliante fornita da rivestimenti in fogli

$I_w$ costante di ingobbamento

$C_{\vartheta,k}$ rigidezza rotazionale fornita da elementi continui stabilizzanti e connessioni

$K_\upsilon$ coefficiente che considera il tipo di analisi

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

$K_\vartheta$ coefficiente che considera la distribuzione del momento e il tipo di vincolo

$C_{\vartheta R,k}$ rigidezza rotazionale fornita alla trave da elementi continui stabilizzanti ipotizzando un collegamento rigido alla membratura

$C_{\vartheta C,k}$ rigidezza rotazionale della connessione tra la trave e l'elemento stabilizzante continuo

$C_{\vartheta D,k}$ rigidezza rotazionale dedotta da un'analisi delle deformazioni distorsionali della sezione trasversale della trave

$L_m$ lunghezza stabile tra vincoli laterali adiacenti

$L_k$ lunghezza stabile tra vincoli torsionali adiacenti

$L_s$ lunghezza stabile tra una posizione della cerniera plastica e un vincolo torsionale adiacente

$C_1$ coefficiente di modifica per la distribuzione del momento

$C_m$ coefficiente di modifica per momento con variazione lineare

$C_n$ coefficiente di modifica per momento con variazione non lineare

$a$ distanza tra il baricentro della membratura nella quale si forma la cerniera plastica e il baricentro delle membrature vincolanti

$B_0$ coefficiente

$B_1$ coefficiente

$B_2$ coefficiente

$\eta$ rapporto dei valori critici elastici degli sforzi normali

$i_s$ raggio di inerzia relativo al baricentro delle membrature vincolanti

$\beta_t$ rapporto tra l'algebricamente minimo e massimo momento di estremità

$R_1$ momento in una specifica posizione della membratura

$R_2$ momento in una specifica posizione della membratura

$R_3$ momento in una specifica posizione della membratura

$R_4$ momento in una specifica posizione della membratura

$R_5$ momento in una specifica posizione della membratura

$R_E$ valore massimo tra $R_1$ e $R_5$

$R_s$ valore massimo del momento flettente in qualunque punto della distanza $L_y$

$c$ coefficiente di rastremazione

$h_h$ altezza aggiuntiva del rinforzo o della rastremazione

$h_{max}$ massima altezza della sezione trasversale lungo la distanza $L_y$

$h_{min}$ minima altezza della sezione trasversale lungo la distanza $L_y$

$h_s$ proiezione verticale dell'altezza della sezione non rinforzata

$L_h$ lunghezza del rinforzo considerando la distanza $L_y$

$L_y$ distanza tra i vincoli

## 1.7 Convenzioni per gli assi della membratura

(1) La convenzione per gli assi è la seguente:

x-x asse lungo la membratura;

y-y asse della sezione trasversale;

z-z asse della sezione trasversale.

(2) Per le membrature di acciaio, le convenzioni utilizzate per gli assi della sezione trasversale sono:

- in generale:

  y-y asse della sezione trasversale parallelo alle ali;

  z-z asse della sezione perpendicolare alle ali;

- per sezioni angolari:

  y-y asse parallelo all'ala minore;

  z-z asse perpendicolare all'ala minore;

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

- dove necessario:

  u-u asse principale maggiore (qualora esso non coincida con l'asse yy);

  v-v asse principale minore (qualora esso non coincida con l'asse zz).

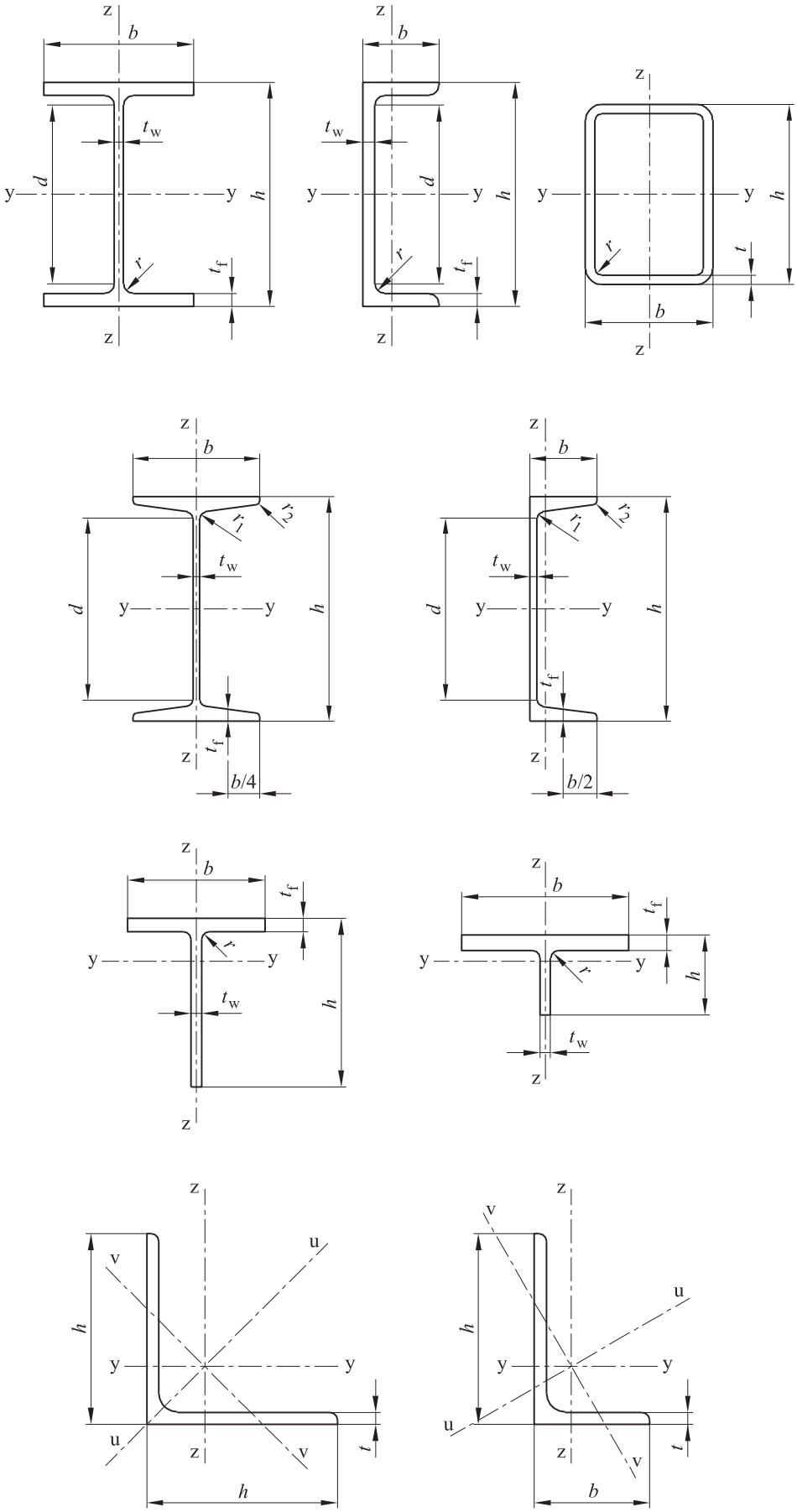
(3) La simbologia utilizzata per le dimensioni e gli assi di sezioni laminate di acciaio è indicata nella Figura 1.1.

(4) La convenzione utilizzata per gli indici che indicano gli assi per i momenti è la seguente: "si utilizza l'asse intorno al quale agisce il momento".

Nota Tutte le regole nel presente Eurocodice riguardano le proprietà dell'asse principale, che sono definite generalmente dagli assi y-y e z-z, mentre sono definite dagli assi u-u e v-v per sezioni come quelle angolari.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 1.1 **Dimensioni e assi delle sezioni**



Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# 2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

## 2.1 Requisiti

### 2.1.1 Requisiti fondamentali

(1)P La progettazione delle strutture di acciaio deve essere conforme alle regole generali fornite nella EN 1990.

(2) Per le strutture di acciaio è raccomandata anche l'applicazione delle disposizioni supplementari fornite nella presente Sezione.

(3) Si raccomanda che i requisiti fondamentali della EN 1990 Sezione 2 siano ritenuti soddisfatti quando la progettazione condotta utilizzando la metodologia degli stati limite è utilizzata insieme al metodo dei coefficienti parziali, alle combinazioni di carico fornite nella EN 1990 e alle azioni fornite nella EN 1991.

(4) Per la determinazione delle resistenze, della funzionalità in condizioni di esercizio e della durabilità si raccomanda l'utilizzo delle regole fornite nelle varie parti della EN 1993.

### 2.1.2 Gestione dell'affidabilità

(1) Qualora siano richiesti differenti livelli di affidabilità, si raccomanda che questi siano preferibilmente ottenuti attraverso una scelta appropriata della gestione della qualità nella progettazione e nell'esecuzione, secondo la EN 1990 Appendice C e la EN 1090.

### 2.1.3 Vita utile di progetto, durabilità e robustezza

#### 2.1.3.1 Generalità

(1)P In funzione dei tipi di azione che riguardano la durabilità e la vita utile di progetto (vedere EN 1990) le strutture di acciaio devono essere:

- progettate contro la corrosione per mezzo di:
  - idonea protezione superficiale (vedere EN ISO 12944),
  - l'utilizzo di acciaio resistente alla corrosione atmosferica,
  - l'utilizzo di acciaio inossidabile (vedere EN 1993-1-4);
- progettate con dettagli costruttivi tali da garantire una sufficiente vita a fatica (vedere EN 1993-1-9);
- progettate contro l'usura;
- progettate per azioni eccezionali (vedere EN 1991-1-7);
- ispezionate e soggette a manutenzione.

#### 2.1.3.2 Vita utile di progetto per edifici

(1)P, B La vita utile di progetto deve esere assunta pari al periodo per il quale è previsto l'utilizzo della struttura dell'edificio in accordo alla sua destinazione d'utilizzo.

(2)B Per la specifica della vita utile di progetto prevista per un edificio a carattere permanente vedere prospetto 2.1 della EN 1990.

(3)B Per elementi strutturali che non possono essere progettati per l'intera vita di progetto dell'edificio vedere punto 2.1.3.3(3)B.

#### 2.1.3.3 Durabilità degli edifici

(1)P, B Per assicurare la durabilità, gli edifici e i loro componenti devono essere progettati nei confronti delle azioni ambientali e della fatica, se pertinente, o altrimenti devono essere protetti nei confronti di tali azioni.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(2)P, B Quando pertinente, gli effetti del deterioramento del materiale, della corrosione o della fatica devono essere presi in considerazione con una appropriata selezione del materiale, vedere EN 1993-1-4 e EN 1993-1-10, e dei dettagli costruttivi, vedere EN 1993-1-9, o con l'adozione di un sistema strutturale iperstatico e la selezione di un idoneo sistema di protezione contro la corrosione.

(3)B Se un edificio include componenti per i quali è necessaria la loro sostituzione (per esempio appoggi in zone soggette a cedimenti fondali), si raccomanda che la possibilità della loro sostituzione in sicurezza sia verificata considerandola una situazione progettuale temporanea.

## 2.2 Principi della progettazione agli stati limite

(1) La resistenza di sezioni trasversali e membrature specificate nel presente Eurocodice 3 per gli stati limite ultimi, come definiti nella EN 1990 punto 3.3, sono basate su prove in cui il materiale ha esibito duttilità sufficiente per applicare modelli di progettazione semplificati.

(2) Le resistenze specificate nella presente parte dell'Eurocodice possono quindi essere utilizzate quando sono soddisfatte le condizioni per i materiali riportate nella Sezione 3.

## 2.3 Variabili fondamentali

### 2.3.1 Azioni e influenze dell'ambiente

(1) Si raccomanda che le azioni per la progettazione delle strutture di acciaio siano prese dalla EN 1991. Per la combinazione delle azioni e per i coefficienti parziali delle azioni vedere appendice A della EN 1990.

Nota 1 L'appendice nazionale può definire azioni per particolari situazioni regionali, climatiche o eccezionali.

Nota 2B Nel caso si adotti un approccio incrementale per l'applicazione proporzionale del carico vedere appendice AB.1.

Nota 3B Per la distribuzione di carico semplificata vedere appendice AB.2.

(2) Si raccomanda che le azioni da considerare nella fase di costruzione siano ottenute dalla EN 1991-1-6.

(3) Quando è necessario considerare gli effetti di cedimenti assoluti e differenziali previsti, si raccomanda che siano utilizzate le migliori stime delle deformazioni imposte.

(4) Si raccomanda che gli effetti di cedimenti irregolari, deformazioni imposte o altre forme di precompressione imposte durante la costruzione siano presi in considerazione come azioni permanenti mediante il loro valore nominale $P_k$ e siano accorpati con altre azioni permanenti $G_k$ in modo da formare una singola azione ($G_k + P_k$).

(5) Si raccomanda che azioni da fatica non definite nella EN 1991 siano determinate secondo l'appendice A della EN 1993-1-9.

### 2.3.2 Proprietà dei materiali e dei prodotti

(1) Si raccomanda che le proprietà del materiale per gli acciai e gli altri prodotti da costruzione e i dati geometrici da utilizzare per la progettazione siano quelli specificati nelle pertinenti EN, ETAG o ETA, se non specificato diversamente nella presente norma.

## 2.4 Verifica mediante il metodo del coefficiente parziale

### 2.4.1 Valori di progetto delle proprietà del materiale

(1)P Per la progettazione di strutture di acciaio si devono utilizzare i valori caratteristici $X_k$ o i valori nominali $X_n$ delle proprietà del materiale indicati nel presente Eurocodice.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

### 2.4.2 Valori di progetto dei dati geometrici

(1) I dati geometrici delle sezioni trasversali e dei sistemi possono essere ricavati dalle norme di prodotto hEN o dai disegni esecutivi secondo la EN 1090 e possono essere assunti come valori nominali.

(2) I valori di progetto delle imperfezioni geometriche specificate nella presente norma sono imperfezioni geometriche equivalenti che considerano gli effetti di:

- imperfezioni geometriche di membrature come stabilito dalle tolleranze geometriche nelle norme di prodotto o nelle norme di esecuzione;
- imperfezioni strutturali dovute alla fabbricazione ed alla realizzazione;
- tensioni residue;
- variazione della resistenza di snervamento.

### 2.4.3 Resistenze di progetto

(1) Per le strutture di acciaio si applica l'equazione (6.6c) o l'equazione (6.6d) della EN 1990:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{1}{\gamma_M} R_k(\eta_l X_{k,l}; \eta_{ki} X_{k,i}; a_d) \qquad (2.1)$$

dove:

$R_k$ è il valore caratteristico della resistenza considerata, determinato con i valori caratteristici o nominali delle proprietà del materiale e delle dimensioni;

$\gamma_M$ è il coefficiente parziale globale per la resistenza considerata.

Nota Per le definizioni di $\eta_l$, $\eta_i$, $X_{k,l}$, $X_{k,i}$ e $a_d$ vedere EN 1990.

### 2.4.4 Verifica dell'equilibrio statico (EQU)

(1) Il tipo di affidabilità per la verifica dell'equilibrio statico nel prospetto 1.2 (A) dell'appendice A della EN 1990 si applica anche nelle situazioni di progetto equivalenti alla (EQU), per esempio nella progettazione di sistemi di ancoraggio o nella verifica del sollevamento di supporti di travi continue.

## 2.5 Progettazione assistita da prove

(1) Le resistenze $R_k$ nella presente norma sono state determinate utilizzando l'appendice D della EN 1990.

(2) Nelle classi raccomandate dei coefficienti parziali costanti $\gamma_{Mi}$, i valori caratteristici $R_k$ sono stati ottenuti da:

$$R_k = R_d \gamma_{mi} \qquad (2.2)$$

dove:

$R_d$ sono valori di progetto secondo l'appendice D della EN 1990;

$\gamma_{Mi}$ sono coefficienti parziali raccomandati.

Nota 1 I valori numerici dei coefficienti parziali raccomandati $\gamma_{Mi}$ sono stati determinati in modo tale che $R_k$ rappresenti approssimativamente il valore frattile al 5% inferiore per un numero infinito di prove.

Nota 2 Per i valori caratteristici della resistenza a fatica e dei coefficienti parziali $\gamma_{Mf}$ per fatica vedere la EN 1993-1-9.

Nota 3 Per i valori caratteristici della tenacità e per gli elementi in materia di sicurezza ai fini della verifica della tenacità vedere la EN 1993-1-10

(3) Quando si raccomanda che le resistenze $R_k$ per prodotti prefabbricati siano determinati da prove, si raccomanda che sia seguita la procedura di cui al comma (2).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# 3 MATERIALI

## 3.1 Generalità

(1) Si raccomanda che i valori nominali delle proprietà dei materiali specificate nella presente Sezione siano adottati come valori caratteristici nelle elaborazioni del progetto.

(2) La presente parte della EN 1993 tratta la progettazione di strutture di acciaio fabbricate con acciai conformi ai tipi elencati nel prospetto 3.1.

Nota Per altri acciai e prodotti vedere appendice nazionale

## 3.2 Acciaio strutturale

### 3.2.1 Proprietà dei materiali

(1) Si raccomanda che i valori nominali della resistenza di snervamento $f_y$ e della resistenza ultima $f_u$ per gli acciai strutturali siano ottenuti in alternativa:

a) adottando i valori $f_y = R_{eH}$ e $f_u = R_m$ ottenuti direttamente dalla norma di prodotto;

b) utilizzando la semplificazione fornita nel prospetto 3.1.

Nota L'appendice nazionale può indicare la scelta.

### 3.2.2 Requisiti di duttilità

(1) Per gli acciai è richiesta una duttilità minima. Si raccomanda di esprimere tale duttilità in termini di limitazione per:

- il rapporto $f_u / f_y$ tra la minima resistenza ultima a trazione specificata $f_u$ e la minima resistenza di snervamento specificata $f_y$;
- l'allungamento a rottura nel caso di lunghezza fra i riferimenti di $5{,}65\sqrt{A_o}$ (dove $A_0$ è l'area della sezione trasversale originaria);
- la deformazione ultima $\varepsilon_u$, dove $\varepsilon_u$ corrisponde alla resistenza ultima $f_u$.

Nota I valori limite del rapporto $f_u / f_y$ dell'allungamento a rottura e della deformazione ultima $\varepsilon_u$ possono essere definiti nell'appendice nazionale. I seguenti valori sono raccomandati:

- $f_u / f_y \geq 1{,}10$;
- allungamento a rottura non minore del 15%;
- $\varepsilon_u \geq 15\ \varepsilon_y$ , dove $\varepsilon_y$ è la deformazione di snervamento ($\varepsilon_y = f_y / E$).

(2) Si raccomanda che questi requisiti siano da ritenersi soddisfatti per gli acciai conformi a uno dei tipi elencati nel prospetto 3.1.

### 3.2.3 Resistenza contro la rottura fragile

(1)P Il materiale deve avere sufficiente tenacità per evitare la rottura fragile di elementi tesi alla minima temperatura di esercizio che si prevede possa verificarsi durante la vita utile di progetto della struttura.

Nota La minima temperatura di esercizio da adottare nella progattazione può essere fornita nell'appendice nazionale.

(2) Non sono necessarie ulteriori verifiche contro la rottura fragile se le condizioni date nella EN 1993-1-10 per la minima temperatura sono soddisfatte.

(3)B Si raccomanda che per componenti di edifici soggetti a compressione sia selezionata una tenacità minima.

Nota B L'appendice nazionale può fornire informazioni sulla selezione della tenacità per le membrature compresse. È raccomandato l'utilizzo del prospetto 2.1 della EN 1993-1-10 per $\sigma_{Ed} = 0{,}25\ f_y(t)$.

(4) Per selezionare gli acciai nel caso di membrature con rivestimenti zincati a caldo vedere la EN ISO 1461.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 3.1 **Valori nominali della resistenza di snervamento $f_y$ e della resistenza ultima a trazione $f_u$ per acciai strutturali laminati a caldo**

| Norma e tipo di acciaio | Spessore nominale dell'elemento $t$ [mm] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $t \leq 40$ mm | | 40 mm < $t \leq 80$ mm | |
| | $f_y$ [N/mm$^2$] | $f_u$ [N/mm$^2$] | $f_y$ [N/mm$^2$] | $f_u$ [N/mm$^2$] |
| **EN 10025-2** | | | | |
| S 235 | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S 275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 450 | 440 | 550 | 410 | 550 |
| **EN 10025-3** | | | | |
| S 275 N/NL | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 N/NL | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 N/NL | 420 | 520 | 390 | 520 |
| S 460 N/NL | 460 | 540 | 430 | 540 |
| **EN 10025-4** | | | | |
| S 275 M/ML | 275 | 370 | 255 | 360 |
| S 355 M/ML | 355 | 470 | 335 | 450 |
| S 420 M/ML | 420 | 520 | 390 | 500 |
| S 460 M/ML | 460 | 540 | 430 | 530 |
| **EN 10025-5** | | | | |
| S 235 W | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 355 W | 355 | 490 | 335 | 490 |
| **EN 10025-6** | | | | |
| S 460 Q/QL/QL1 | 460 | 570 | 440 | 550 |
| **EN 10210-1** | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 275 H | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 H | 355 | 510 | 335 | 490 |
| S 275 NH/NLH | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 NH/NLH | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 NH/NLH | 420 | 540 | 390 | 520 |
| S 460 NH/NLH | 460 | 560 | 430 | 550 |
| **EN 10219-1** | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | | |
| S 275 H | 275 | 430 | | |
| S 355 H | 355 | 510 | | |
| S 275 NH/NLH | 275 | 370 | | |
| S 355 NH/NLH | 355 | 470 | | |
| S 460 NH/NLH | 460 | 550 | | |
| S 275 MH/MLH | 275 | 360 | | |
| S 355 MH/MLH | 355 | 470 | | |
| S 420 MH/MLH | 420 | 500 | | |
| S 460 MH/MLH | 460 | 530 | | |

### 3.2.4 Proprietà attraverso lo spessore

(1) Quando è necessario un acciaio con migliorate proprietà attraverso lo spessore secondo la EN 1993-1-10, si raccomanda che sia utilizzato un acciaio in accordo alla classe di qualità richiesta nella EN 10164.

Nota 1 Una linea guida sulla selezione delle proprietà attraverso lo spessore è fornita nella EN 1993-1-10.

Nota 2B Si raccomanda di porre particolare cura per le connessioni saldate trave - colonna e per le piastre di estremità saldate soggette a trazione nella direzione che attraversa lo spessore.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Nota 3B L'appendice nazionale può specificare la corrispondenza appropriata tra i valori obiettivo di $Z_{Ed}$ secondo il punto 3.2(2) della EN 1993-1-10 e la classe di qualità secondo la EN 10164. La corrispondenza nel prospetto 3.2 è raccomandata per gli edifici.

prospetto 3.2 **Selezione della classe di qualità secondo la EN 10164**

| Valore obiettivo di $Z_{Ed}$ secondo EN 1993-1-10 | Valore richiesto di $Z_{Rd}$ espresso in termini di valori di progetto $Z$ secondo EN 10164 |
|---|---|
| $Z_{Ed} \leq 10$ | - |
| $10 < Z_{Ed} \leq 20$ | $Z$15 |
| $20 < Z_{Ed} \leq 30$ | $Z$25 |
| $Z_{Ed} > 30$ | $Z$35 |

### 3.2.5 Tolleranze

(1) Si raccomanda che le tolleranze dimensionali e di massa dei profilati di acciaio laminati, dei profilati tubolari e delle lamiere siano conformi alle norme di prodotto, agli ETAG o agli ETA pertinenti a meno che siano specificate tolleranze più severe.

(2) Per componenti saldati si raccomanda che siano applicate le tolleranze fornite nella EN 1090.

(3) Si raccomanda che per l'analisi e la progettazione strutturale siano utilizzati i valori nominali delle dimensioni.

### 3.2.6 Valori di progetto dei coefficienti del materiale

(1) Si raccomanda che i coefficienti del materiale da adottare nei calcoli per gli acciai strutturali trattati dalla presente Parte di Eurocodice siano i seguenti:

- modulo di elasticità $E = 210\,000$ N/mm$^2$
- modulo di elasticità tangenziale $G = \dfrac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000$ N/mm$^2$
- coefficiente di Poisson in campo elastico $\nu = 0{,}3$
- coefficiente di dilatazione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per $K$ (per T $\leq$ 100 °C)

Nota Per calcolare gli effetti strutturali di temperature diseguali in strutture composte acciaio-calcestruzzo secondo la EN 1994 il coefficiente di dilatazione termica lineare è preso pari a $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ per $K$.

## 3.3 Elementi di giunzione

### 3.3.1 Dispositivi di giunzione

(1) I requisiti per i dispositivi di giunzione sono forniti nella EN 1993-1-8.

### 3.3.2 Materiali di apporto per saldature

(1) I requisiti per materiali di apporto per saldature sono forniti nella EN 1993-1-8.

## 3.4 Altri prodotti prefabbricati negli edifici

(1)B Si raccomanda che eventuali i prodotti strutturali con finitura completa o semi-completa utilizzati nella progettazione strutturale di edifici siano conformi alle pertinenti norme di prodotto ETAG o ETA.

# 4 DURABILITÀ

(1) I requisiti fondamentali per la durabilità sono stabiliti nella EN 1990.

(2)P Le modalità di esecuzione dei trattamenti protettivi, effettuati in sito o non, devono essere in conformità alla EN 1090.

Nota La EN 1090 elenca i fattori che influenzano l'esecuzione che è necessario specificare durante la progettazione.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(3) Si raccomanda che parti suscettibili alla corrosione, all'usura meccanica o alla fatica siano progettate in modo che la loro ispezione, manutenzione e ricostruzione possa essere effettuata in maniera soddisfacente e che sia possibile l'accesso per l'ispezione e la manutenzione in esercizio.

(4)B Per le strutture di edifici non è richiesta generalmente la verifica a fatica a eccezione dei seguenti casi:

a) membrature portanti apparecchi di sollevamento o carichi mobili;

b) membrature soggette a cicli ripetuti di tensione derivanti da macchine vibranti;

c) membrature soggette a vibrazioni indotte dal vento;

d) membrature soggette a oscillazioni indotte dalla folla.

(5)P Per gli elementi che non possono essere ispezionati devono essere adottati adeguati provvedimenti di protezione contro la corrosione.

(6)B Se l'umidità interna relativa non eccede l'80% non è necessario applicare una protezione contro la corrosione alle strutture interne degli edifici.

# 5 ANALISI STRUTTURALE

## 5.1 Modellazione strutturale per l'analisi

### 5.1.1 Modellazione strutturale e ipotesi fondamentali

(1)P L'analisi deve essere basata su modelli di calcolo della struttura che siano appropriati rispetto agli stati limite considerati.

(2) Si raccomanda che il modello di calcolo e le ipotesi fondamentali per il calcolo rispecchino il comportamento strutturale ai relativi stati limite con accuratezza appropriata e rispecchino il tipo di comportamento atteso per le sezioni trasversali, le membrature, i collegamenti e gli appoggi.

(3)P Il metodo utilizzato per l'analisi deve essere congruente con le ipotesi progettuali.

(4)B Per la modellazione strutturale e per le ipotesi fondamentali relative ai componenti degli edifici vedere anche la EN 1993-1-5 e la EN 1993-1-11.

### 5.1.2 Modellazione dei collegamenti

(1) Gli effetti del comportamento dei collegamenti sulla distribuzione delle sollecitazioni interne nella struttura e sulle sue deformazioni globali possono essere generalmente trascurate. Tuttavia, laddove tali effetti siano significativi (come nel caso di collegamenti semirigidi) si raccomanda che essi siano presi in considerazione, vedere EN 1993-1-8.

(2) Per riconoscere se è necessario prendere in considerazione gli effetti del comportamento dei collegamenti sull'analisi può essere fatta una distinzione tra tre modelli di collegamenti come riportato di seguito, vedere EN 1993-1-8, punto 5.1.1:

- semplici, in cui si può ipotizzare che il collegamento non trasmetta momenti flettenti;
- continui, in cui si può ipotizzare che il comportamento del collegamento non abbia effetti sull'analisi;
- semicontinui, in cui è necessario prendere in considerazione il comportamento del collegamento nell'analisi.

(3) I requisiti dei vari tipi di collegamento sono forniti nella EN 1993-1-8.

### 5.1.3 Interazione suolo-struttura

(1) Qualora sia significativo, si raccomanda che le deformazioni caratteristiche degli appoggi siano considerate.

Nota La EN 1997 fornisce una linea guida per la valutazione dell'interazione suolo-struttura.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## 5.2 Analisi globale

### 5.2.1 Effetti della geometria deformata della struttura

(1) Le sollecitazioni interne possono essere generalmente determinate utilizzando in alternativa:

- l'analisi del primo ordine, utilizzando la geometria iniziale della struttura, oppure
- l'analisi del secondo ordine, considerando l'influenza della deformazione della struttura.

(2) Si raccomanda che gli effetti della geometria deformata (effetti del secondo ordine) siano considerati se incrementano significativamente gli effetti delle azioni o modificano significativamente il comportamento strutturale.

(3) L'analisi del primo ordine può essere utilizzata per la struttura se gli incrementi delle sollecitazioni interne pertinenti o eventuali altre variazioni del comportamento strutturale prodotte dalle deformazioni possono essere trascurati. Questa condizione può considerarsi soddisfatta se è verificato il seguente criterio:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ per l'analisi elastica}$$
$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ per l'analisi plastica} \qquad (5.1)$$

dove:

$\alpha_{cr}$ è il coefficiente per cui i carichi di progetto sarebbero incrementati per provocare l'instabilità elastica secondo un modo globale;

$F_{Ed}$ è il carico di progetto sulla struttura;

$F_{cr}$ è il carico critico di instabilità elastica per un modo di instabilità globale basato sulle rigidezze iniziali elastiche.

Nota Nel caso di analisi plastica un limite più grande di $\alpha_{cr}$ è dato nell'equazione (5.1) perché il comportamento strutturale può essere influenzato significativamente dalle proprietà non lineari del materiale nello stato limite ultimo (per esempio quando in un telaio si formano cerniere plastiche con ridistribuzione dei momenti o quando si verificano significative deformazioni non lineari per la presenza di collegamenti semirigidi). Per alcuni tipi di telai, quando comprovato da approcci più accurati, l'appendice nazionale può fornire un limite minore di $\alpha_{cr}$.

(4)B I telai a portale con coperture aventi modeste pendenze e i telai piani trave/colonna di edifici possono essere verificati nei confronti di modi di collasso caratterizzati da spostamenti laterali con l'analisi del primo ordine se per ogni piano è soddisfatto il criterio (5.1). A condizione che la compressione assiale nelle travi o nei puntoni non sia significativa, si raccomanda che in queste strutture $\alpha_{cr}$ sia calcolato utilizzando la seguente formula approssimata:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{ed}}{V_{ed}}\right)\left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}}\right) \qquad (5.2)$$

dove:

$H_{Ed}$ è il carico orizzontale totale di progetto, comprese le forze equivalenti secondo il punto 5.3.2(7), trasferito dal piano (taglio di piano);

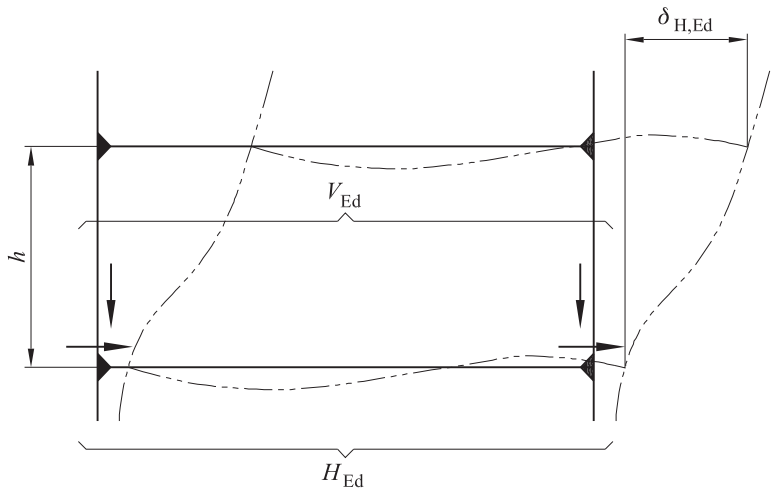
$V_{Ed}$ è il carico verticale totale di progetto sul telaio trasferito dal piano (spinta di piano);

$\delta_{H,Ed}$ è lo spostamento orizzontale di interpiano quando il telaio è caricato con carichi orizzontali (per esempio vento) e carichi orizzontali fittizi che sono applicati ad ogni livello di solaio;

$h$ è l'altezza di piano.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.1 **Simbologia per 5.2.1(4)**




Nota 1B Per l'applicazione del punto (4)B, in assenza di informazioni più dettagliate, la pendenza della copertura può essere considerata modesta se essa è non maggiore di 1:2 (26°).

Nota 2B Per l'applicazione del punto 4(B), in assenza di informazioni più dettagliate, si raccomanda che la compressione assiale nelle travi o nei puntoni sia considerata significativa se:

$$\bar{\lambda} \geq 0{,}3\sqrt{\frac{A\ f_y}{N_{Ed}}} \qquad (5.3)$$

dove:

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione;

$\bar{\lambda}$ è la snellezza adimensionale nel piano calcolata per le travi o per i puntoni, considerati incernierati alle estremità e con la lunghezza di sistema misurata lungo le travi o i puntoni.

(5) Si raccomanda che gli effetti sulla rigidezza della diffusione del carico per taglio ("shear lag effects") e della instabilità locale siano considerati se essi influenzano significativamente l'analisi globale, vedere EN 1993-1-5.

Nota Per i profili laminati e per le sezioni saldate aventi dimensioni simili gli effetti della diffusione del carico per taglio ("shear lag effects") possono essere trascurati.

(6) Si raccomanda che gli effetti dello scorrimento foro-bullone e di deformazioni similari che possono verificarsi in dispositivi di connessione che utilizzano viti e bulloni di ancoraggio siano considerati nell'analisi globale qualora essi risultino pertinenti e significativi.

### 5.2.2 Stabilità strutturale dei telai

(1) Se secondo il punto 5.2.1 l'influenza delle deformazioni della struttura deve essere considerata, si raccomanda di applicare i punti da (2) a (6) per considerare tali effetti e per verificare la stabilità strutturale.

(2) Si raccomanda che la verifica della stabilità dei telai o di loro parti sia eseguita considerando le imperfezioni e gli effetti del secondo ordine.

(3) A seconda del tipo di telaio e di analisi globale, gli effetti del secondo ordine e le imperfezioni possono essere portati in conto mediante uno dei seguenti metodi:

a) considerandoli entrambi, nella loro totalità, nell'analisi globale;

b) considerandoli in parte nell'analisi globale e in parte nelle singole verifiche di stabilità delle membrature, secondo il punto 6.3.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

c) in alcuni casi di base, attraverso le singole verifiche di stabilità delle membrature equivalenti, secondo il punto 6.3, utilizzando appropriate lunghezze di libera inflessione secondo il modo di instabilità globale della struttura.

(4) Gli effetti del secondo ordine possono essere calcolati attraverso una appropriata analisi della struttura (includendo l'analisi al passo o altre procedure iterative). Per telai in cui il primo modo instabile laterale è predominante si raccomanda che l'analisi elastica del primo ordine sia seguita da una successiva amplificazione degli effetti delle azioni pertinenti (per esempio momenti flettenti) mediante appropriati coefficienti.

(5)B Per i telai monopiano progettati con una analisi globale elastica, gli spostamenti laterali del secondo ordine dovuti ai carichi verticali possono essere calcolati incrementando i carichi orizzontali $H_{Ed}$ (per esempio vento), i carichi equivalenti $V_{Ed}\,\phi$ dovuti ad imperfezioni [(vedere punto 5.3.2(7)] e altri possibili spostamenti laterali ottenuti secondo la teoria del primo ordine mediante il coefficiente:

$$\frac{1}{1-\dfrac{1}{\alpha_{cr}}} \qquad (5.4)$$

a condizione che $\alpha_{cr} \geq 3{,}0$,

dove:

$\alpha_{cr}$ può essere calcolato secondo la (5.2) nel punto 5.2.1(4)B, a condizione che la pendenza della copertura sia modesta e che la compressione assiale nelle travi o nei puntoni non sia significativa come definito nel punto 5.2.1(4)B.

Nota B Per $\alpha_{cr} < 3{,}0$ si applica una più accurata analisi del secondo ordine.

(6)B Per telai multipiano gli spostamenti laterali del secondo ordine possono essere calcolati mediante il metodo fornito in (5)B a condizione che tutti i piani abbiano una simile:

- distribuzione di carichi verticali;
- distribuzione di carichi orizzontali; e
- distribuzione delle rigidezze nel telaio rispetto alle forze taglianti di piano agenti.

Nota B Per le limitazioni del metodo vedere anche punto 5.2.1(4)B.

(7) In conformità al punto (3) si raccomanda che la stabilità della singola membratura sia verificata secondo quanto segue:

a) se gli effetti del secondo ordine nelle singole membrature e le pertinenti imperfezioni (vedere punto 5.3.4) sono considerati completamente nell'analisi globale della struttura, non sono necessarie singole verifiche di instabilità per le membrature secondo il punto 6.3;

b) se gli effetti del secondo ordine nelle singole membrature o di alcune imperfezioni nelle singole membrature (per esempio imperfezioni di membrature per instabilità flessionali e/o flesso-torsionale, vedere punto 5.3.4) non sono considerate nella loro totalità nell'analisi globale, si raccomanda che la stabilità delle singole membrature sia verificata secondo il criterio appropriato di cui al punto 6.3 per gli effetti non inclusi nell'analisi globale. Si raccomanda che questa verifica sia condotta considerando i momenti e le forze di estremità derivanti dall'analisi globale della struttura, includendo gli effetti globali del secondo ordine e delle imperfezioni globali se pertinenti (vedere punto 5.3.2), e assumendo una lunghezza di libera inflessione pari alla lunghezza di sistema.

(8) Quando la stabilità di un telaio è valutata mediante la verifica con il metodo della colonna equivalente secondo il punto 6.3, si raccomanda che i valori della lunghezza di libera inflessione siano basati su un modo di instabilità globale del telaio che porti in conto la rigidezza di membrature e collegamenti, la presenza di cerniere plastiche e la distribuzione delle forze di compressione sotto le azioni di progetto. In questo caso le sollecitazioni interne da utilizzare nelle verifiche di resistenza sono calcolate secondo la teoria del primo ordine senza considerare le imperfezioni.

Nota L'appendice nazionale può fornire informazioni sul campo di applicazione.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## 5.3 Imperfezioni

### 5.3.1 Principi

(1) Si raccomanda che margini adeguati siano introdotti nell'analisi strutturale per trattare gli effetti delle imperfezioni, includendo in esse le tensioni residue e le imperfezioni geometriche quali mancanza di verticalità, mancanza di rettilineità, mancanza di planarità, mancanza di accoppiamento ed eccentricità maggiori delle tolleranze essenziali fornite nella EN 1090-2 presenti nei collegamenti delle strutture quando non caricate.

(2) Si raccomanda che siano utilizzate imperfezioni geometriche equivalenti, vedere punti 5.3.2 e 5.3.3, con valori che rispecchino i possibili effetti di tutti i tipi di imperfezioni, a meno che tali effetti siano inclusi nelle formule di resistenza utilizzate per la progettazione delle membrature, vedere punto 5.3.4.

(3) Si raccomanda che siano considerate le seguenti imperfezioni:

a) imperfezioni globali per i telai e per i sistemi di controvento,

b) imperfezioni locali per le singole membrature.

### 5.3.2 Imperfezioni per l'analisi globale di telai

(1) La forma ipotizzata delle imperfezioni globali e delle imperfezioni locali può essere derivata dal modo di instabilità elastica che la struttura esibisce nel piano di instabilità considerato.

(2) Si raccomanda che entrambe le instabilità, nel piano e fuori dal piano, inclusa l'instabilità torsionale con forme instabili simmetriche e asimmetriche, siano considerate secondo le direzioni e le forme più sfavorevoli.

(3) Si raccomanda che per i telai sensibili alla instabilità secondo un modo instabile laterale, l'effetto delle imperfezioni sia considerato nell'analisi del telaio attraverso una imperfezione equivalente sotto forma di una imperfezione laterale iniziale e di imperfezioni locale in termini di curvatura iniziale delle membrature. Le imperfezioni possono essere determinate da:

a) imperfezioni laterali globali iniziali, vedere figura 5.2:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \tag{5.5}$$

dove:

$\phi_0$ è il valore base: $\phi_0$ = 1/200;

$\alpha_h$ è il coefficiente di riduzione per l'altezza $h$ applicabile alle colonne:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ con la limitazione } \frac{2}{3} \le \alpha_h \le 1{,}0$$

$h$ è l'altezza della struttura in metri;

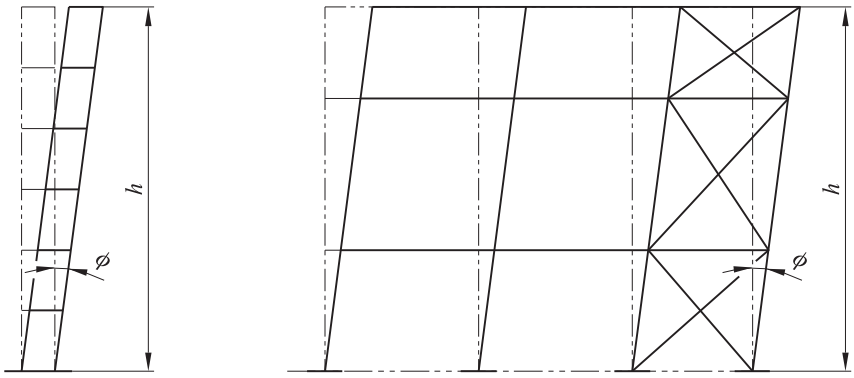
$\alpha_m$ è il coefficiente di riduzione per il numero di colonne in una fila:

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5\left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

$m$ è il numero di colonne in una fila, includendo solo quelle colonne che portano un carico verticale $N_{Ed}$ non minore del 50% del valore medio del carico agente nelle colonne appartenenti al piano verticale considerato.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.2 **Imperfezioni laterali equivalenti**




b) imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale della membratura per instabilità flessionale:

$$e_0/L \tag{5.6}$$

dove:

$L$ è la lunghezza della membratura.

Nota I valori $e_0$ / $L$ possono essere scelti nell'appendice nazionale. Valori raccomandati sono forniti nel prospetto 5.1.

prospetto 5.1 **Valori di progetto dell'imperfezione locale in termini di curvatura iniziale $e_0/L$ per membrature**

| Curva di instabilità secondo il prospetto 6.2 | Analisi elastica | Analisi plastica |
|---|---|---|
| | $e_0$ / $L$ | $e_0$ / $L$ |
| $a_0$ | 1 / 350 | 1 / 300 |
| a | 1 / 300 | 1 / 250 |
| b | 1 / 250 | 1 / 200 |
| c | 1 / 200 | 1 / 150 |
| d | 1 / 150 | 1 / 100 |

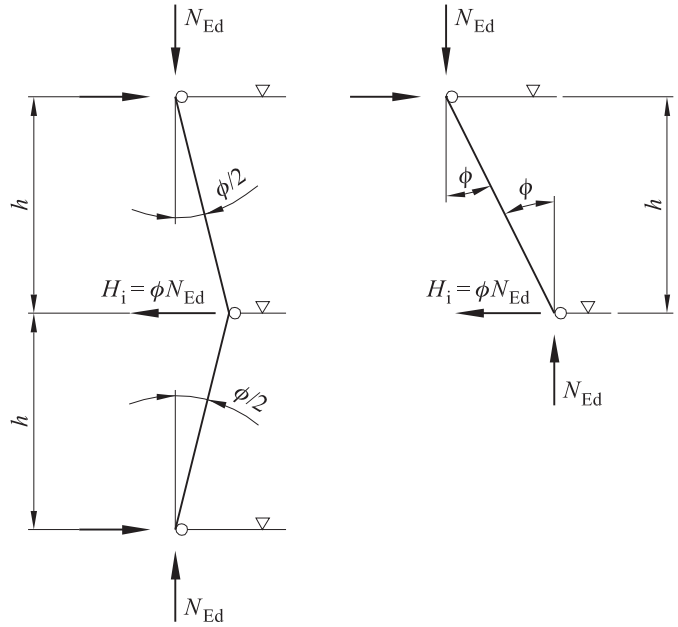
(4)B Per i telai di edifici le imperfezioni laterali possono essere trascurate quando:

$$H_{ed} \geq 0{,}15\ V_{Ed} \tag{5.7}$$

(5)B Si raccomanda che per la determinazione delle forze orizzontali agenti sui diaframmi di piano sia applicata la configurazione delle imperfezioni fornita in figura 5.3, dove $\phi$ è una imperfezione laterale ottenuta dalla (5.5) ipotizzando un singolo piano con altezza $h$, vedere (3)a).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.3 **Configurazione delle imperfezioni laterali *f* per forze orizzontali agenti sui diaframmi di piano**




(6) Quando si impiega l'analisi globale per la determinazione delle forze e dei momenti di estremità da utilizzarsi nelle verifiche delle membrature secondo il punto 6.3, le imperfezioni locali in termini di curvatura possono essere trascurate. Tuttavia, per telai sensibili agli effetti del secondo ordine, in aggiunta alle imperfezioni laterali globali [vedere punto 5.2.1(3)], si raccomanda che le imperfezioni locali in termini di curvatura delle membrature siano introdotte nell'analisi strutturale del telaio per ogni membratura compressa quando sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- almeno un collegamento resistente a flessione ad una delle estremità della membratura:
- $\bar{\lambda} > 0{,}5\sqrt{\dfrac{A\ f_y}{N_{Ed}}}$ (5.8)

dove:

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione; e

$\bar{\lambda}$ è la snellezza adimensionale nel piano calcolata per la membratura considerata incernierata alle estremità.

Nota Le imperfezioni locali in termini di curvatura sono considerate nelle verifiche delle membrature, vedere punti 5.2.2 (3) e 5.3.4.

(7) Gli effetti delle imperfezioni laterali iniziali e delle imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale possono essere sostituiti da sistemi di forze orizzontali equivalenti introdotti per ciascuna colonna, vedere figura 5.3 e figura 5.4.

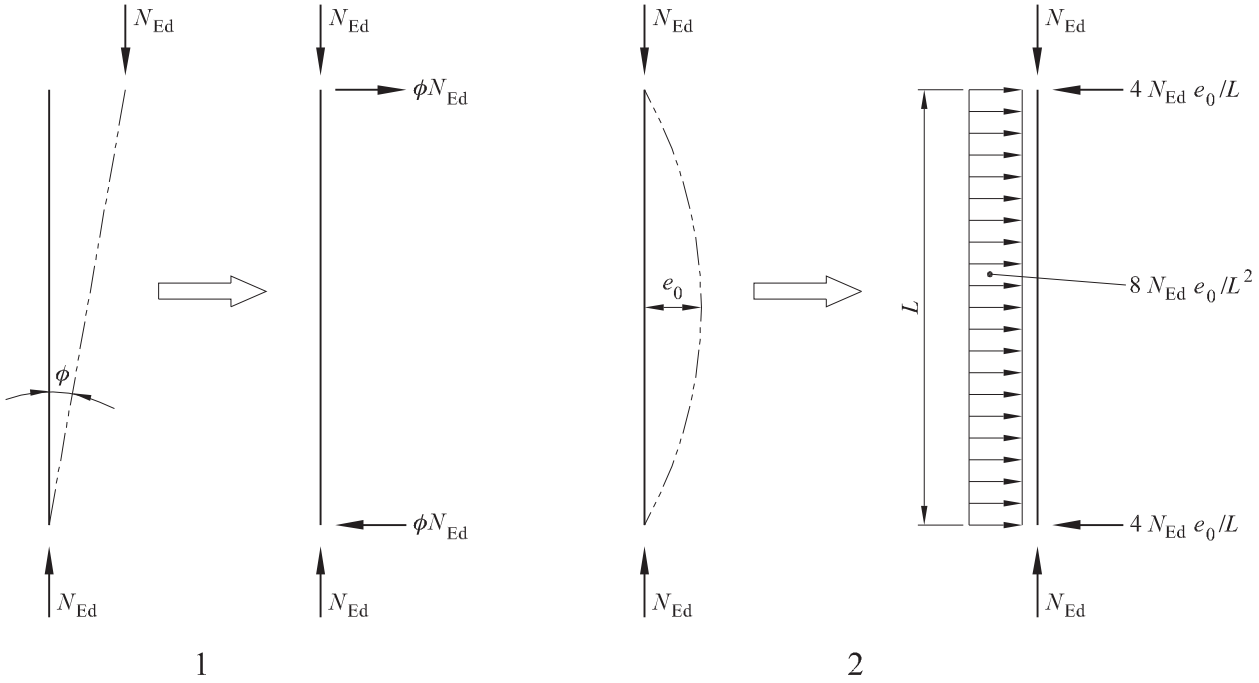
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.4 **Sostituzione delle imperfezioni iniziali con forze orizzontali equivalenti**

Legenda

1 Imperfezioni laterali iniziali

2 Imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale




(8) Si raccomanda che queste imperfezioni laterali iniziali siano applicate in tutte le direzioni orizzontali pertinenti, ma considerando le presenti in una sola direzione per volta.

(9)B Quando nei telai trave/colonna per edifici multipiano sono utilizzate forze equivalenti, si raccomanda che esse siano applicate a ciascun livello di impalcato o di copertura.

(10) Si raccomanda che siano considerati anche i possibili effetti torsionali sulla struttura prodotti da spostamenti laterali non simmetrici di due facce opposte, vedere figura 5.5.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.5 **Effetti traslazionali e torsionali (vista in pianta)**

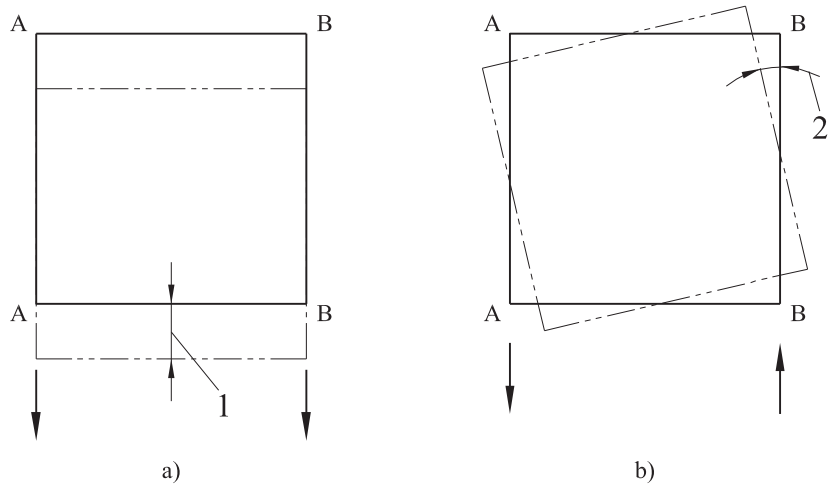
Legenda

a) Facce A-A e B-B spostamenti laterali nella stessa direzione

b) Facce A-A e B-B spostamenti laterali in direzioni opposte

1 Spostamento laterale traslazionale

2 Spostamento laterale rotazionale




(11) In alternativa ai punti (3) e (6) la forma del modo di instabilità critica elastica $\eta_{cr}$ della struttura può essere applicata come una unica imperfezione globale e locale. L'ampiezza di questa imperfezione può essere determinata da:

$$\eta_{init} = e_0 \frac{N_{cr}}{EI|\eta''|_{cr,max}} \eta_{cr} = \frac{e_0}{\bar{\lambda}^2} \frac{N_{Rk}}{EI|\eta''|_{cr,max}} \eta_{cr} \tag{5.9}$$

dove:

$$e_0 = \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}} \frac{1 - \frac{\chi \bar{\lambda}^2}{\gamma_{M1}}}{1 - \chi \bar{\lambda}^2} \quad \text{per } \bar{\lambda} > 0{,}2 \tag{5.10}$$

e

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} \quad \text{è la snellezza relativa della struttura;} \tag{5.11}$$

$\alpha$ è il coefficiente di imperfezione per la curva di instabilità pertinente, vedere prospetto 6.1 e prospetto 6.2;

$\chi$ è il coefficiente di riduzione per la curva di instabilità pertinente dipendente dalla sezione trasversale pertinente, vedere punto 6.3.1;

$\alpha_{ult,k}$ è il minimo amplificatore della forza per la configurazione della forza assiale $N_{Ed}$ nelle membrature per raggiungere la resistenza caratteristica $N_{Rk}$ della sezione trasversale più sollecitata a compressione senza considerare l'instabilità;

$\alpha_{cr}$ è il minimo amplificatore della forza per la configurazione della forza assiale $N_{Ed}$ nelle membrature per raggiungere il carico di instabilità critica elastica;

$M_{Rk}$ è il valore caratteristico del momento resistente della sezione trasversale critica, per esempio quello pertinente tra $M_{el,Rk}$ o $M_{pl,Rk}$;

$N_{Rk}$ è il valore caratteristico della resistenza allo sforzo normale della sezione trasversale critica, cioè $N_{pl,Rk}$;

$EI\eta''_{cr,max}$ è il momento flettente nella sezione trasversale critica dovuto a $\eta_{cr}$;

$\eta_{cr}$ è la forma del modo di instabilità critica elastica.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Nota 1 Per calcolare gli amplificatori $\alpha_{ult,k}$ e $\alpha_{cr}$ le membrature della struttura possono essere considerate caricate dalle sole forze assiali $N_{Ed}$ ricavate dall'analisi elastica del primo ordine della struttura sottoposta alle azioni di progetto. Nel caso di calcolo globale elastico e di verifica della sezione plastica si raccomanda di utilizzare la formula lineare $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$ .

Nota 2 L'appendice nazionale può fornire informazioni per il campo di applicazione del punto (11).

### 5.3.3 Imperfezioni per l'analisi dei sistemi di controvento

(1) Nell'analisi dei sistemi di controvento, ai quali è richiesto di assicurare la stabilità laterale di travi o di membrature compresse, si raccomanda che gli effetti delle imperfezioni siano inclusi attraverso una imperfezione geometrica equivalente delle membrature da vincolare, sotto forma di una imperfezione locale in termini di curvatura iniziale.

$$e_0 = \alpha_m L/500 \tag{5.12}$$

dove:

$L$ è la luce del sistema di controvento;

e

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5\left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

in cui $m$ è il numero di membrature da vincolare.

(2) Per semplicità, gli effetti delle imperfezioni locali in termini di curvatura iniziale di membrature da vincolare mediante un sistema di controvento possono essere sostituiti dalla forza stabilizzante equivalente mostrata nella figura 5.6:

$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \tag{5.13}$$

dove:

$\delta_q$ è lo spostamento nel piano del sistema di controvento dovuto al carico $q$ più altri eventuali carichi esterni, valutati con l'analisi del primo ordine.

Nota $\delta_q$ può essere preso pari a 0 se è utilizzata la teoria del secondo ordine.

(3) Qualora il sistema di controvento sia impiegato per stabilizzare l'ala compressa di una trave ad altezza costante, la forza $N_{Ed}$ in figura 5.6 può essere ottenuta da:

$$N_{Ed} = M_{Ed}/h \tag{5.14}$$

dove:

$M_{Ed}$ è il massimo momento nella trave; e

$h$ è l'altezza totale della trave.

Nota Qualora la trave sia soggetta a compressione esterna, si raccomanda che $N_{Ed}$ comprenda una parte della forza di compressione.

(4) In corrispondenza dei punti in cui le travi o le membrature compresse sono discontinue, si raccomanda inoltre di verificare che il sistema di controvento sia in grado di resistere a una forza locale pari a $\alpha_m N_{Ed}$ / 100 applicata a esso attraverso ciascuna trave o membratura compressa discontinua in tale punto, e di trasmettere questa forza ai punti adiacenti a quelli in cui la trave o la membratura compressa è vincolata, vedere figura 5.7.

(5) Nella verifica per la forza locale secondo il punto (4) si raccomanda che siano inclusi anche eventuali carichi esterni agenti sul sistema di controvento, ma possono essere omesse le forze derivanti dalla imperfezione fornita in (1).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

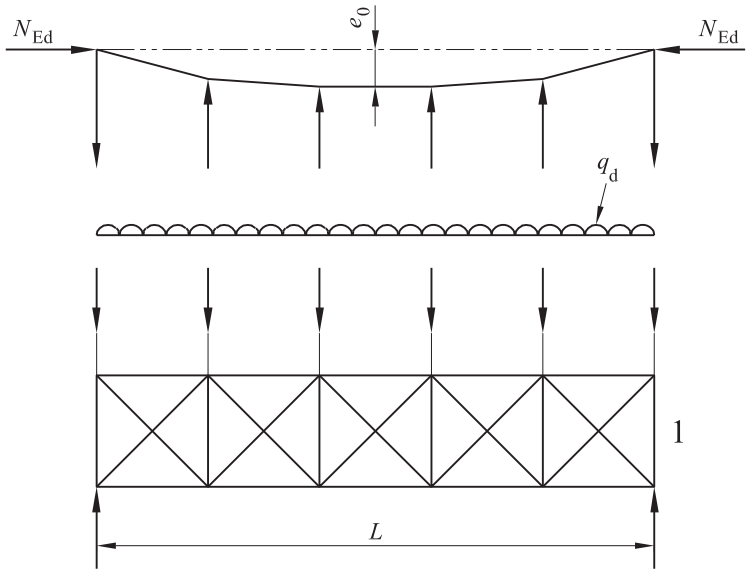
figura 5.6 **Forza stabilizzante equivalente**

Legenda

$e_0$ Imperfezione

$q_d$ Forza equivalente per unità di lunghezza

1 Sistema di controvento




La forza $N_{Ed}$ è ipotizzata costante lungo la luce $L$ del sistema di controvento.

Per forze non uniformi questa è una ipotesi lievemente conservativa.

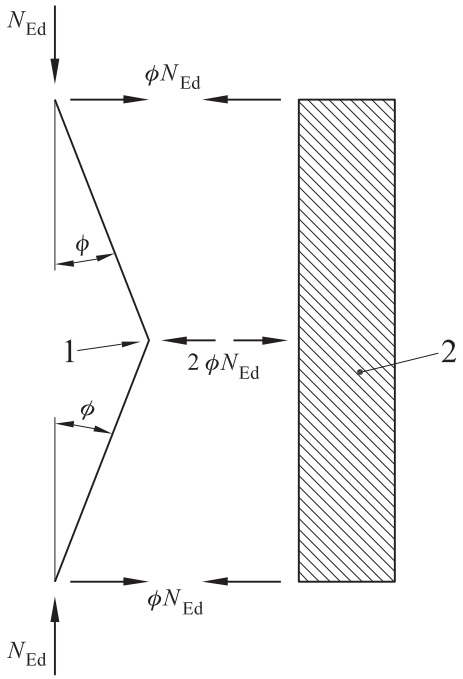
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.7 **Forze nel controvento in corrispondenza di discontinuità in elementi compressi**

Legenda

1 Discontinuità

2 Sistema di controvento




$$\Phi = \alpha_m \Phi_0 \quad : \quad \Phi_0 = 1/200$$

$$2\,\Phi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed}/100$$

### 5.3.4 Imperfezioni delle membrature

(1) Gli effetti di imperfezioni locali in termini di curvatura delle membrature sono incorporate nelle formule fornite per la resistenza all'instabilità delle membrature, vedere punto 6.3.

(2) Qualora la stabilità delle membrature è considerata mediante l'analisi del secondo ordine secondo il punto 5.2.2(7)a) per le imperfezioni delle membrature compresse si raccomanda di considerare $e_0$ secondo i punti 5.3.2(3)b), 5.3.2(5) o 5.3.2(6).

(3) Per una analisi del secondo ordine che prenda in considerazione l'instabilità flesso-torsionale di una membratura inflessa le imperfezioni possono essere adottate come $ke_0$, dove $e_0$ è l'imperfezione locale in termini di curvatura iniziale equivalente dell'asse debole del profilato considerato. In generale non è necessario considerare una imperfezione torsionale aggiuntiva.

Nota L'appendice nazionale può stabilire il valore di $k$. Il valore $k = 0{,}5$ è quello raccomandato.

## 5.4 Metodi di analisi che considerano le non linearità del materiale

### 5.4.1 Generalità

(1) Le sollecitazioni interne possono essere determinate utilizzando in alternativa:

a) l'analisi globale elastica;

b) l'analisi globale plastica.

Nota Per analisi mediante modelli agli elementi finiti (FEM) vedere EN 1993-1-5.

(2) L'analisi globale elastica può essere utilizzata in tutti i casi.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(3) L'analisi plastica globale può essere utilizzata solo quando la struttura ha sufficiente capacità rotazionale laddove effettivamente si localizzano le cerniere plastiche, siano esse nelle membrature o nei collegamenti. Quando una cerniera plastica si forma in una membratura, si raccomanda che la sezione trasversale della membratura sia a doppia o singola simmetria con un piano di simmetria coincidente con il piano di flessione della cerniera plastica e che siano soddisfatti i requisiti specificati nel punto 5.6. Quando una cerniera plastica si forma in un collegamento, si raccomanda che il collegamento abbia resistenza sufficiente per garantire che la cerniera resti nella membratura o che esso sia in grado di mantenare la resistenza plastica per una sufficiente rotazione, vedere la EN 1993-1-8.

(4)B Come metodo semplificato per una limitata ridistribuzione plastica dei momenti nelle travi continue, nelle quali sulla base di una analisi elastica alcuni momenti di picco eccedono la resistenza plastica a flessione di una quantità non maggiore del 15%, l'aliquota in eccesso di tali momenti di picco può essere ridistribuita tra le membrature a condizione che:

a) le sollecitazioni interne nel telaio siano in equilibrio con i carichi applicati, e

b) tutte le membrature in cui i momenti sono ridotti abbiano sezioni trasversali di classe 1 o di classe 2 (vedere punto 5.5), e

c) l'instabilità flesso-torsionale delle membrature sia impedita.

### 5.4.2 Analisi elastica globale

(1) Si raccomanda che l'analisi elastica globale sia basata sulle ipotesi che il comportamento tensione-deformazione del materiale sia lineare, qualunque sia il livello di tensione.

Nota Per la selezione di un modello di collegamento semirigido vedere punto 5.1.2.

(2) Le sollecitazioni interne possono essere calcolate secondo l'analisi elastica globale anche se la resistenza della sezione trasversale è calcolata sulla base della sua resistenza plastica, vedere punto 6.2.

(3) L'analisi elastica globale può essere utilizzata anche per sezioni trasversali le cui resistenze sono limitate dall'instabilità locale, vedere punto 6.2.

### 5.4.3 Analisi plastica globale

(1) L'analisi plastica globale considera gli effetti delle non linearità del materiale nel calcolo degli effetti delle azioni sul sistema strutturale. Si raccomanda che il comportamento sia modellato mediante uno dei seguenti metodi:

- mediante l'analisi elasto-plastica con sezioni e/o collegamenti plasticizzati schematizzati come cerniere plastiche,
- mediante l'analisi plastica non lineare considerando la parziale plasticizzazione delle membrature nelle zone plastiche,
- mediante l'analisi rigido-plastica trascurando il comportamento elastico tra le cerniere.

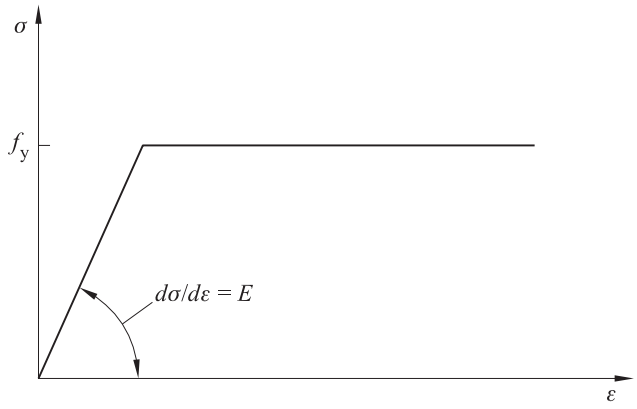
(2) L'analisi plastica globale può essere utilizzata quando le membrature sono in grado di sviluppare una capacità rotazionale sufficiente a permettere lo sviluppo delle ridistribuzioni dei momenti flettenti richiesti, vedere punti 5.5 e 5.6.

(3) Si raccomanda che l'analisi plastica globale sia utilizzata solo quando può essere assicurata la stabilità delle membrature in corrispondenza delle cerniere plastiche, vedere punto 6.3.5.

(4) La relazione bi-lineare tensione-deformazione indicata in figura 5.8 può essere utilizzata per i tipi di acciaio strutturale specificati nella Sezione 3. In alternativa, può essere utilizzata una relazione più precisa, vedere EN 1993-1-5.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 5.8 **Relazione tensione-deformazione bi-lineare**




(5) L'analisi rigido-plastica può essere applicata se non devono essere considerati gli effetti della geometria deformata (per esempio effetti del secondo ordine). In questi casi i collegamenti sono classificati solo mediante la resistenza, vedere EN 1993-1-8.

(6) Si raccomanda che gli effetti della geometria deformata della struttura e della stabilità strutturale del telaio siano verificati secondo i principi forniti nel punto 5.2.

Nota La massima resistenza di un telaio con geometria significativamente deformata può realizzarsi prima che si siano formate tutte le cerniere del meccanismo di collasso valutato secondo la teoria del primo ordine.

## 5.5 Classificazione delle sezioni trasversali

### 5.5.1 Principi

(1) Il ruolo della classificazione delle sezioni trasversali è quello di valutare l'entità della limitazione della resistenza e della capacità rotazionale delle sezioni trasversali per effetto dalla sua resistenza all'instabilità locale.

### 5.5.2 Classificazione

(1) Si definiscono le seguenti quattro classi di sezioni trasversali:

- classe 1: sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi plastica senza che si verifichi riduzione di resistenza;
- classe 2: sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma che hanno una capacità rotazionale limitata per effetto dell'instabilità locale;
- classe 3: sono quelle sezioni trasversali nelle quali le tensioni nelle fibre estreme compresse della membratura di acciaio, ipotizzando una distribuzione elastica di tensioni, possono raggiungere la resistenza di snervamento ma l'instabilità locale può impedire lo sviluppo del momento resistente plastico;
- classe 4: sono quelle sezioni trasversali nelle quali l'instabilità locale si verifica prima che in uno o più elementi della sezione trasversale si raggiunga la tensione di snervamento.

(2) Nelle sezioni trasversali della classe 4 possono essere utilizzate le larghezze efficaci per tenere in debito conto le riduzioni di resistenza dovute agli effetti dell'instabilità locale, vedere EN 1993-1-5, punto 4.4.

(3) La classificazione di una sezione trasversale dipende dal rapporto tra la larghezza e lo spessore degli elementi compressi.

(4) Gli elementi compressi includono ogni elemento della sezione trasversale che, per la combinazione di carico considerata, sia totalmente o parzialmente compresso.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(5) I vari elementi compressi in una sezione trasversale (quali anima o ala) possono, generalmente, appartenere a classi differenti.

(6) Una sezione trasversale è classificata secondo la più alta (meno favorevole) classe dei suoi elementi compressi. Eccezioni sono specificate nei punti 6.2.1(10) e 6.2.2.4(1).

(7) In alternativa, la classificazione di una sezione trasversale può essere definita indicando entrambe le classificazioni dell'anima e dell'ala.

(8) Si raccomanda che per gli elementi compressi delle sezioni trasversali delle classi 1, 2 e 3 i rapporti dimensionali limite siano ottenuti dal prospetto 5.2. Si raccomanda che un elemento della sezione trasversale che non soddisfi i limiti per la classe 3 sia considerato di classe 4.

(9) Tranne per quanto indicato in (10), le sezioni di classe 4 possono essere trattate come sezioni di classe 3 se i rapporti tra larghezza e spessore sono minori dei rapporti dimensionali limite ottenuti dal prospetto 5.2 per la classe 3 quando è incrementato per $\sqrt{\frac{f_y/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,ED}}}$, dove $\sigma_{com,Ed}$ è la tensione di compressione massima di progetto nell'elemento della sezione considerata ottenuta dall'analisi del primo ordine o, quando necessario, dall'analisi del secondo ordine.

(10) Tuttavia, nella verifica della resistenza alla instabilità di progetto di una membratura condotta utilizzando il punto 6.3, si raccomanda che i rapporti dimensionali limite per la classe 3 siano sempre ottenuti dal prospetto 5.2.

(11) Sezioni trasversali aventi un'anima di classe 3 e ali di classe 1 o 2 possono essere classificate come sezioni trasversali di classe 2 con un'anima efficace definita in conformità al punto 6.2.2.4.

(12) Quando l'anima è considerata elemento resistente ai soli sforzi di taglio e si ipotizza che essa non contribuisca alla resistenza a flessione e a sforzo normale della sezione trasversale, la sezione trasversale può essere considerata come di classe 2, 3 o 4, in sola funzione della classe dell'ala.

Nota Per l'instabilità dell'anima indotta dall'ala vedere la EN 1993-1-5.

## 5.6 Requisiti delle sezioni trasversali per l'analisi plastica globale

(1) In corrispondenza della localizzazione delle cerniere plastiche, si raccomanda che la sezione trasversale della membratura abbia una capacità rotazionale non minore della rotazione richiesta in corrispondenza della cerniera plastica.

(2) Nel caso di membrature uniformi in corrispondenza di una cerniera plastica può essere ipotizzata una sufficiente capacità rotazionale se sono soddisfatti entrambi i seguenti requisiti:

a) in corrispondenza della cerniera plastica la membratura ha sezione di classe 1;

b) qualora una forza trasversale che ecceda il 10% della resistenza a taglio della sezione trasversale, vedere punto 6.2.6, sia applicata all'anima in corrispondenza della cerniera plastica, si raccomanda che la membratura abbia irrigidimenti d'anima aventi una distanza valutata lungo la membratura - rispetto alla posizione della cerniera plastica - non maggiore di $h/2$, dove $h$ è l'altezza della sezione trasversale.

(3) Qualora la sezione trasversale della membratura sia variabile lungo il suo sviluppo, si raccomanda di soddisfare i seguenti criteri aggiuntivi:

a) lateralmente ai punti in cui si formano le cerniere plastiche, si raccomanda che lo spessore dell'anima non sia ridotto per una distanza valutata lungo la membratura - rispetto alla posizione della cerniera plastica - di almeno $2d$, dove $d$ è l'altezza netta dell'anima in corrispondenza della cerniera plastica;

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

b) lateralmente ai punti in cui si formano le cerniere plastiche, si raccomanda che l'ala compressa sia di classe 1 per una distanza valutata lungo la membratura - rispetto alla posizione della cerniera plastica - non minore del valore maggiore fra:

- 2*d*, dove per *d* vale la definizione data in (3)a);
- la distanza fino al punto adiacente nel quale il momento nella membratura è ridotto a 0,8 volte il momento resistente plastico del punto in esame;

c) per le altre sezioni della membratura si raccomanda che l'ala compressa sia di classe 1 o classe 2 e l'anima sia di classe 1, classe 2 o classe 3.

(4) Lateralmente ai punti in cui si formano le cerniere plastiche, si raccomanda che eventuali fori per dispositivi di giunzione tesi soddisfino il punto 6.2.5(4) per una distanza lungo la membratura - rispetto alla posizione della cerniera plastica pari a quella definita nel punto (3)b).

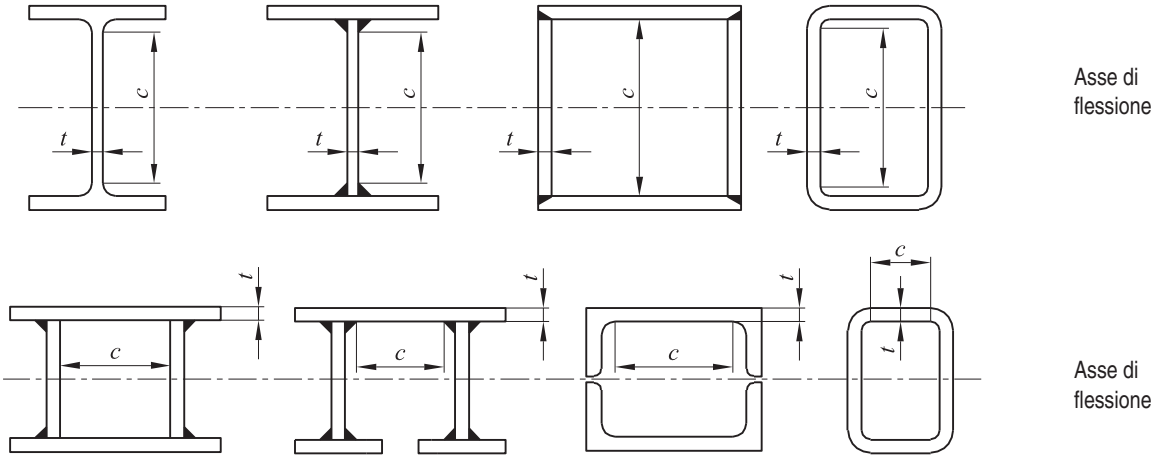
(5) Per la progettazione plastica di un telaio, in riferimento ai requisiti della sezione trasversale, la capacità di ridistribuzione plastica dei momenti può essere considerata sufficiente se i requisiti dei punti da (2) a (4) sono soddisfatti per tutte le membrature nelle quali sotto l'azione dei carichi di progetto si sviluppano, possono svilupparsi o si sono sviluppate le cerniere plastiche.

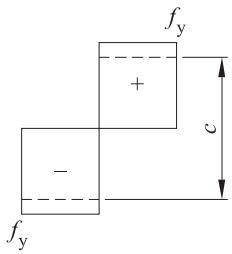
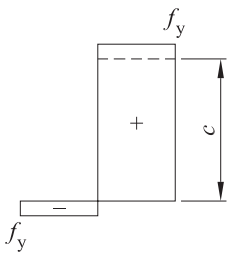
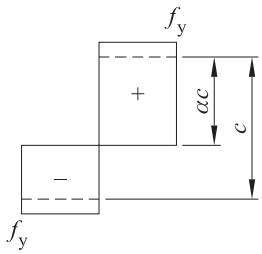
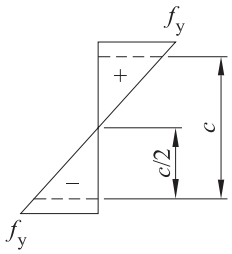
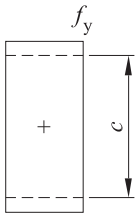
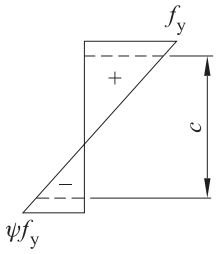
(6) Nei casi in cui si utilizzino metodi di analisi plastica globale che considerano il comportamento reale in termini di tensioni e deformazioni lungo la membratura includendo l'effetto combinato di instabilità locale, della membratura e globale non è necessario che siano applicati i requisiti da (2) a (5).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 5.2 **Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi**

Elementi compressi interni




| Classe | Elemento soggetto a flessione | Elemento soggetto a compressione | Elemento soggetto a flessione e compressione |
|---|---|---|---|
| Distribuzione delle tensioni negli elementi (compressione positiva) |  |  |  |
| 1 | $c/t \leq 72\varepsilon$ | $c/t \leq 33\varepsilon$ | quando $\alpha > 0{,}5$: $c/t \leq \dfrac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$<br>quando $\alpha \leq 0{,}5$: $c/t \leq \dfrac{36\varepsilon}{\alpha}$ |
| 2 | $c/t \leq 83\varepsilon$ | $c/t \leq 38\varepsilon$ | quando $\alpha > 0{,}5$: $c/t \leq \dfrac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$<br>quando $\alpha \leq 0{,}5$: $c/t \leq \dfrac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$ |
| Distribuzione delle tensioni negli elementi (compressione positiva) |  |  |  |
| 3 | $c/t \leq 124\varepsilon$ | $c/t \leq 42\varepsilon$ | quando $\psi > -1$: $c/t \leq \dfrac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$<br>quando $\psi \leq -1$*): $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$ |

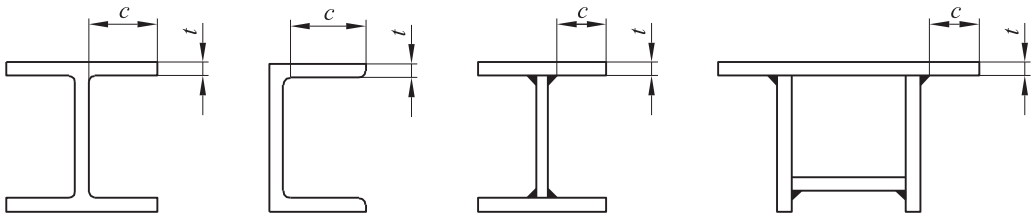
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ | $f_y$ | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\varepsilon$ | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 | 0,71 |

*) $\Psi \leq -1$ si applica quando la tensione di compressione $\sigma \leq f_y$ o in alternativa la deformazione di trazione $\varepsilon_y > f_y/E$.

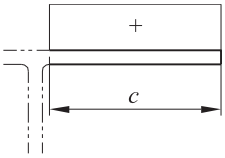
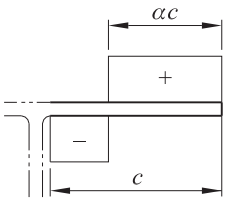
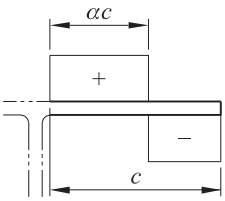
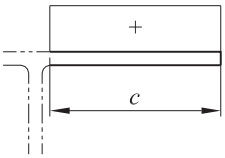
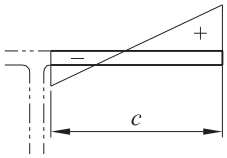
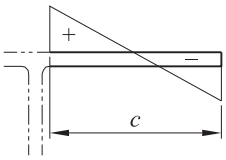
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 5.2 **Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi** (Continua)

Ali sporgenti




Sezioni laminate — Sezioni saldate

| Classe | Elemento soggetto a flessione | Elemento soggetto a flessione e compressione | |
|---|---|---|---|
| | | Estremità compressa | Estremità tesa |
| Distribuzione delle tensioni negli elementi (compressione positiva) |  |  |  |
| 1 | $c/t \leq 9\varepsilon$ | $c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ |
| 2 | $c/t \leq 10\varepsilon$ | $c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ |
| Distribuzione delle tensioni negli elementi (compressione positiva) |  |  |  |
| 3 | $c/t \leq 14\varepsilon$ | $c/t \leq 21\ \varepsilon\sqrt{k_\sigma}$<br>Per $k_\sigma$ vedere EN 1993-1-5 | |

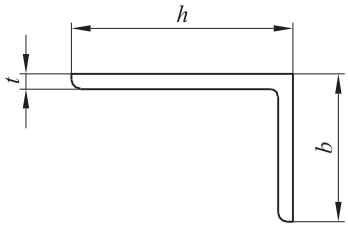
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ | $f_y$ | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\varepsilon$ | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 | 0,71 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

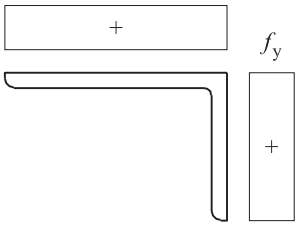
prospetto 5.2 **Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi** (Continua)

Angolari

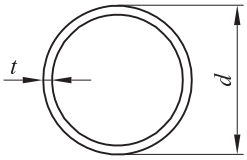
Riferirsi anche ad "ali sporgenti" (vedere foglio 2 di 3)




Non si applica ad angoli in contatto con continuità con altri componenti

| Classe | Sezione soggetta a compressoine |
|---|---|
| Distribuzione delle tensioni nella sezione (compressione positiva) |   |
| 3 | $h/t \leq 15\varepsilon$ e $\frac{b+h}{2t} \leq 11{,}5\varepsilon$ |

Sezioni tubolari




| Classe | Sezione soggetta a flessione e/o compressione |
|---|---|
| 1 | $d/t \leq 50\ \varepsilon^2$ |
| 2 | $d/t \leq 70\ \varepsilon^2$ |
| 3 | $d/t \leq 90\ \varepsilon^2$<br>Nota Per $d/t > 90\ \varepsilon^2$ vedere EN 1993-1-6. |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ | $f_y$ | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | $\varepsilon$ | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 | 0,71 |
| | $\varepsilon^2$ | 1,00 | 0,85 | 0,66 | 0,56 | 0,51 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# 6 STATI LIMITE ULTIMI

## 6.1 Generalità

(1) Si raccomanda che i coefficienti parziali $\gamma_M$ come definiti nel punto 2.4.3 siano applicati ai diversi valori caratteristici della resistenza definiti nella presente Sezione come segue:

- resistenza delle sezioni trasversali per qualsiasi classe di appartenenza: $\gamma_{M0}$
- resistenza delle membrature alla instabilità valutata mediante verifiche della membratura: $\gamma_{M1}$
- resistenza a rottura di sezioni trasversali soggette a trazione: $\gamma_{M2}$
- resistenza dei collegamenti: vedere EN 1993-1-8

Nota 1 Per altri valori numerici raccomandati vedere EN 1993, parti da 2 a 6. Per strutture non trattate dalla EN 1993, parti da 2 a 6, l'appendice nazionale può definire i coefficienti parziali $\gamma_{Mi}$; si raccomanda di prendere i coefficienti parziali $\gamma_{Mi}$ dalla EN 1993-2.

Nota 2B Coefficienti parziali $\gamma_{Mi}$ per gli edifici possono essere definiti nell'appendice nazionale. Per gli edifici sono raccomandati i seguenti valori numerici:

$\gamma_{M0} = 1{,}00$

$\gamma_{M1} = 1{,}00$

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

## 6.2 Resistenza delle sezioni trasversali

### 6.2.1 Generalità

(1)P Si raccomanda che in ogni sezione trasversale il valore di progetto dell'effetto di un'azione non deve eccedere la corrispondente resistenza di progetto e, se diversi effetti di azioni agiscono simultaneamente, l'effetto combinato non deve eccedere la resistenza per tale combinazione.

(2) Si raccomanda che gli effetti di diffusione del carico per taglio ("shear lag effect") e gli effetti dell'instabilità locale siano inclusi mediante una larghezza efficace definita secondo la EN 1993-1-5. Si raccomanda che anche gli effetti dell'instabilità per taglio siano considerati secondo la EN 1993-1-5.

(3) Si raccomanda che i valori di progetto della resistenza dipendano dalla classificazione della sezione trasversale.

(4) La verifica elastica condotta considerando la resistenza elastica può essere effettuata per tutte le classi di sezioni trasversali a condizione che per la verifica delle sezioni trasversali di classe 4 siano utilizzate le proprietà efficaci della sezione trasversale.

(5) Per la verifica elastica può essere utilizzato il seguente criterio di snervamento per un punto critico della sezione trasversale, a meno che non sia applicata una diversa formula di interazione, vedere punti da 6.2.8 a 6.2.10.

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1 \qquad (6.1)$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$ è il valore di progetto della tensione longitudinale nel punto considerato;

$\sigma_{z,Ed}$ è il valore di progetto della tensione trasversale nel punto considerato;

$\tau_{Ed}$ è il valore di progetto della tensione tangenziale nel punto considerato.

Nota La verifica secondo il punto (5) può essere conservativa poichè essa esclude la parziale distribuzione plastica della tensione che è consentita nella progettazione elastica. Pertanto, si raccomanda che essa sia eseguita solo qualora non sia possibile effettuare tale verifica considerando l'interazione sulla base delle resistenze $N_{Rd}$, $M_{Rd}$, $V_{Rd}$.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(6) Si raccomanda che la resistenza plastica della sezione trasversale sia verificata mediante la ricerca di una distribuzione di tensioni che sia in equilibrio con le sollecitazioni interne senza eccedere la resistenza di snervamento. Si raccomanda che tale distribuzione di tensioni sia compatibile con le deformazioni plastiche associate.

(7) Come approssimazione conservativa, per tutte le classi di sezioni trasversali può essere utilizzata la somma lineare dei rapporti di sfruttamento per ciascuna tensione risultante. Per sezioni trasversali di classe 1, classe 2 o classe 3 soggette alle combinazioni di $N_{Ed}$ , $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$ questo metodo può essere applicato utilizzando il seguente criterio:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \qquad (6.2)$$

dove:

$N_{Rd}$, $M_{y,Rd}$ e $M_{z,Rd}$ sono i valori di progetto della resistenza dipendenti dalla classificazione della sezione trasversale e che includono eventuali riduzioni che possono essere causate dagli effetti del taglio, vedere punto 6.2.8.

Nota Per sezioni di classe 4 vedere punto 6.2.9.3(2).

(8) Qualora tutti gli elementi compressi di una sezione trasversale sono di classe 1 o di classe 2, la sezione trasversale può essere ritenuta in grado di sviluppare la sua completa resistenza plastica a flessione.

(9) Qualora tutti gli elementi compressi di una sezione trasversale siano di classe 3, si raccomanda che la valutazione della sua resistenza sia basata su una distribuzione elastica delle deformazioni lungo la sezione trasversale. Si raccomanda che le tensioni di compressione siano limitate alla resistenza di snervamento nelle fibre estreme.

Nota Per le verifiche agli SLU le fibre estreme possono essere ipotizzate nel piano medio delle ali. Per la fatica vedere EN 1993-1-9.

(10) Qualora in una sezione di classe 3 lo snervamento si verifichi prima sul lato teso della sezione trasversale, le riserve plastiche della zona tesa possono essere utilizzate considerando la parziale plasticizzazione nella determinazione della resistenza della sezione.

## 6.2.2 Proprietà delle sezioni

### 6.2.2.1 Sezione lorda

(1) Si raccomanda che le proprietà della sezione lorda siano determinate utilizzando le dimensioni nominali. Non è necessario detrarre i fori per i dispositivi di giunzione, ma si raccomanda di tenere in debito conto delle aperture di dimensioni maggiori. Si raccomanda che i materiali dei coprigiunti e dei calastrelli non siano inclusi.

### 6.2.2.2 Area netta

(1) Si raccomanda che l'area netta di una sezione trasversale sia assunta pari alla sua area lorda detraendo opportunamente tutti i fori e le altre aperture.

(2) Nel calcolo delle proprietà della sezione netta si raccomanda che la detrazione del singolo foro per un dispositivo di giunzione corrisponda all'area della sezione trasversale lorda del foro nel piano del suo asse. Per i fori per i dispositivi di giunzione a testa svasata si raccomanda che la porzione svasata sia opportunamente considerata.

(3) Si raccomanda che, ad eccezione del caso in cui i fori per i dispositivi di giunzione siano disposti in modo sfalsato, l'area totale da detrarre per i fori per i dispositivi di giunzione sia pari alla massima somma delle aree delle sezioni di tali fori valutata considerando tutte le possibili sezioni trasversali perpendicolari all'asse della membratura (vedere piano di collasso ② in figura 6.1).

Nota La massima somma individua la posizione della linea di rottura critica.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(4) Nel caso in cui i fori per i dispositivi di giunzione siano disposti in modo sfalsato, si raccomanda che l'area totale da detrarre per i dispositivi di giunzione sia pari al valore maggiore fra:

a) la detrazione per i fori non sfalsati indicata in (3);

b) $$t\left(nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p}\right) \qquad (6.3)$$

dove:

$s$ è il passo dei fori sfalsati, interasse di due fori consecutivi misurato parallelamente all'asse della membratura;

$p$ è l'interasse degli stessi due fori consecutivi misurato perpendicolarmente all'asse della membratura;

$t$ è lo spessore;

$n$ è il numero di fori che si trovano lungo una linea diagonale o una spezzata che si ottiene considerando la membratura o una sua parte, vedere figura 6.1;

$d_0$ è il diametro del foro.

(5) In un angolare o in un'altra membratura avente fori in più di un piano, si raccomanda che l'interasse $p$, misurato nel piano perpendicolare all'asse della membratura, sia valutato lungo lo sviluppo della congiungente i centri dei due fori (vedere figura 6.2).

figura 6.1 **Fori sfalsati e linee di rottura critiche 1 e 2**

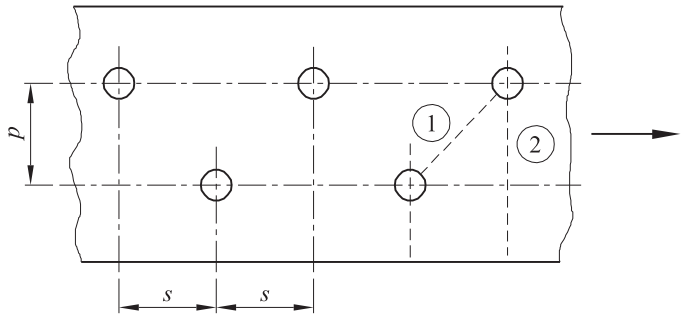
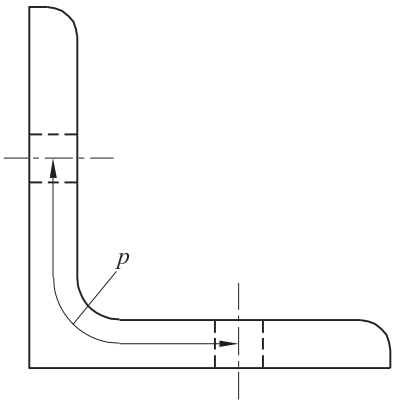



figura 6.2 **Angolari con fori in entrambe le ali**




6.2.2.3 Effetti di diffusione del carico per taglio ("Shear lag effects")

(1) Il calcolo delle larghezze efficaci è trattato nella EN 1993-1-5.

(2) Nelle sezioni di classe 4 si raccomanda che l'interazione tra la diffusione del carico per taglio e l'instabilità locale sia considerata secondo la EN 1993-1-5.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Nota Per le membrature formate a freddo vedere EN 1993-1-3.

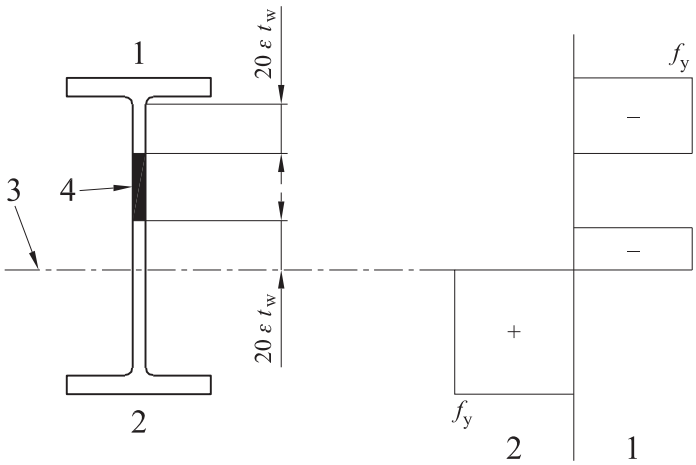
6.2.2.4 Proprietà efficaci di sezioni trasversali con anime di classe 3 e ali di classe 1 o 2

(1) Nel caso in cui sezioni trasversali con anima di classe 3 e ali di classe 1 o 2 siano classificate come sezioni di classe 2, vedere punto 5.5.2(11), si raccomanda che la porzione dell'anima in compressione sia sostituita da una porzione adiacente all'ala compressa avente dimensione di $20\varepsilon t_w$ e da un'altra porzione adiacente all'asse neutro della sezione trasversale efficace completamente plasticizzata avente dimensione di $20\varepsilon t_w$ secondo la figura 6.3.

figura 6.3 **Anima efficace di classe 2**

Legenda

1 Compressione
2 Trazione
3 Asse neutro della sezione efficace completamente plasticizzata
4 Parte trascurata




6.2.2.5 Proprietà efficaci delle sezioni trasversali di classe 4

(1) Si raccomanda che le proprietà efficaci delle sezioni trasversali di classe 4 siano basate sulle larghezze efficaci degli elementi compressi.

(2) Per sezioni formate a freddo vedere punto 1.1.2(1) e EN 1993-1-3.

(3) Si raccomanda che le larghezze efficaci degli elementi piani compressi siano ottenuti secondo la EN 1993-1-5.

(4) Qualora una sezione trasversale di classe 4 sia soggetta ad una sollecitazione di compressione assiale, si raccomanda che la eventuale eccentricità $e_N$ del baricentro dell'area efficace $A_{eff}$ rispetto al baricentro della sezione trasversale lorda e il conseguente momento aggiuntivo siano determinati utilizzando il metodo fornito nella EN 1993-1-5:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_n \qquad (6.4)$$

Nota Il segno del momento aggiuntivo dipende dall'effetto della combinazione delle sollecitazioni intene, vedere punto 6.2.9.3(2).

(5) Per profilati tubolari circolari con sezione trasversale di classe 4 vedere la EN 1993-1-6.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

### 6.2.3 Trazione

(1)P Il valore di progetto della forza assiale $N_{Ed}$ in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale deve soddisfare la relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.5}$$

(2) Per sezioni in cui sono presenti fori si raccomanda che il valore di progetto della resistenza a trazione $N_{t,Rd}$ sia assunto pari al valore più piccolo fra:

a) la resistenza plastica di progetto della sezione trasversale lorda:

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \tag{6.6}$$

b) la resistenza ultima di progetto della sezione trasversale netta in corrispondenza dei fori per i dispositivi di giunzione:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} \tag{6.7}$$

(3) Qualora sia richiesta una progettazione in accordo al criterio della gerarchia delle resistenze, vedere EN 1998, si raccomanda che la resistenza plastica di progetto $N_{pl,Rd}$ [come fornito nel punto 6.2.3(2) a)] sia minore della resistenza ultima di progetto della sezione trasversale netta in corrispondenza dei fori per i dispositivi di giunzione $N_{u,Rd}$ [come fornito nel punto 6.2.3(2) b)].

(4) Per le connessioni di categoria C [vedere EN 1993-1-8, punto 3.4.1(1)], si raccomanda che il valore di progetto della resistenza a trazione $N_{t,Rd}$ nel punto 6.2.3(1) della sezione netta in corrispondenza dei fori per i dispositivi di giunzione sia pari a $N_{net,Rd}$, dove:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net}f_y}{\gamma_{M0}} \tag{6.8}$$

(5) Per angolari collegati su una sola ala, vedere anche EN 1993-1-8, punto 3.10.3. Si raccomanda di applicare metodologie simili anche per altri tipi di sezioni collegate attraverso parti sporgenti.

### 6.2.4 Compressione

(1)P Il valore di progetto della forza di compessione $N_{Ed}$ in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale deve soddisfare la relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.9}$$

(2) Si raccomanda che la resistenza di progetto della sezione trasversale per compressione uniforme $N_{c,Rd}$ sia determinata come segue:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \text{ per sezioni trasversali di classe 1, 2 o 3} \tag{6.10}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff}f_y}{\gamma_{M0}} \text{ per sezioni trasversali di classe 4} \tag{6.11}$$

(3) Ad eccezione del caso di fori maggiorati e ovalizzati come definito nella EN 1090 non è necessario considerare i fori per i dispositivi di giunzione nelle membrature compresse a condizione che in essi i dispositivi di giunzione siano presenti.

(4) Nel caso di sezioni non simmetriche di classe 4, si raccomanda che nel considerare il momento aggiuntivo $\Delta M_{Ed}$ dovuto all'eccentricità dell'asse baricentrico della sezione efficace, vedere punto 6.2.2.5(4), sia utilizzato il metodo fornito nel punto 6.2.9.3.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

### 6.2.5 Momento flettente

(1)P Il valore di progetto del momento flettente $M_{Ed}$ in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale deve soddisfare la relazione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.12}$$

dove:

$M_{c,Rd}$ è determinato considerando i fori per i dispositivi di giunzione, vedere punti da (4) a (6).

(2) Si raccomanda che la resistenza di progetto della sezione trasversale per flessione intorno ad un asse principale sia determinata come segue:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 1 o 2} \tag{6.13}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 3} \tag{6.14}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 4} \tag{6.15}$$

dove:

$W_{el,min}$ e $W_{eff,min}$ corrispondono alla fibra con la massima tensione elastica.

(3) Nel caso di flessione biassiale si raccomanda che siano utilizzati i metodi forniti nel punto 6.2.9.

(4) I fori per i dispositivi di giunzione presenti nell'ala tesa possono essere trascurati a condizione che per l'ala tesa risulti:

$$\frac{A_{f,net} 0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}} \tag{6.16}$$

dove:

$A_f$ è l'area dell'ala tesa.

Nota Il criterio fornito in (4) costituisce l'applicazione del criterio di gerarchia delle resistenze (vedere punto 1.5.8).

(5) Non è necessario considerare i fori per i dispositivi di giunzione nella zona tesa dell'anima a condizione che il criterio fornito in (4) sia soddisfatto per tutta la porzione tesa comprendendo sia l'ala tesa che la porzione tesa dell'anima.

(6) Ad eccezione del caso di fori maggiorati e ovalizzati non è necessario considerare i fori per i dispositivi di giunzione nelle porzioni compresse della sezione trasversale a condizione che in essi i dispositivi di giunzione siano presenti.

### 6.2.6 Taglio

(1)P Il valore di progetto della sollecitazione di taglio $V_{Ed}$ in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale deve soddisfare la relazione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.17}$$

dove:

$V_{c,Rd}$ è valore di progetto della resistenza a taglio. Per il calcolo plastico $V_{c,Rd}$ è il valore di progetto della resistenza plastica a taglio $V_{pl,Rd}$ come fornita in (2). Per il calcolo elastico $V_{c,Rd}$ è il valore di progetto della resistenza elastica a taglio calcolata utilizzando (4) e (5).

(2) In assenza di torsione il valore di progetto della resistenza plastica a taglio è fornito da:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \tag{6.18}$$

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

dove:

$A_v$ è l'area resistente a taglio.

(3) L'area resistente a taglio $A_v$ può essere determinata come segue:

a) profilati laminati a I e H, carico parallelo all'anima — $A - 2bt_f + (t_w + 2r)\,t_f$ ma non minore di $\eta h_w t_w$

b) profilati laminati a C, carico parallelo all'anima — $A - 2bt_f + (t_w + r)\,t_f$

c) profilati laminati a T, carico parallelo all'anima

- per sezioni laminate a T:

$$A_v = A - bt_f + (t_w + 2r)\frac{t_f}{2}$$

- per sezioni saldate a T:

$$A_V = t_w\left(h - \frac{t_f}{2}\right)$$

d) Sezioni saldate a I, H e a cassone, carico parallelo all'anima — $\eta\Sigma\,(h_w t_w)$

e) Sezioni saldate a I, H, C e a cassone, carico parallelo alle ali — $A - \Sigma\,(h_w t_w)$

f) Sezioni laminate tubolari rettangolari di spessore costante:

carico parallelo all'altezza — $Ah/(b + h)$

carico parallelo alla larghezza — $Ab/(b + h)$

g) Sezioni tubolari circolari e tubi di spessore costante — $2A/\pi$

dove:

$A$ è l'area della sezione trasversale;

$b$ è la larghezza totale;

$h$ è l'altezza totale;

$h_w$ è l'altezza dell'anima;

$r$ è il raggio di raccordo;

$t_f$ è lo spessore dell'ala;

$t_w$ è lo spessore dell'anima (se lo spessore dell'anima non è costante, si raccomanda che $t_w$ sia pari allo spessore minimo);

$\eta$ vedere EN 1993-1-5.

Nota Può essere posto conservativamente pari a 1,0.

(4) Per verificare il valore di progetto della resistenza elastica a taglio $V_{c,Rd}$ può essere utilizzato il seguente criterio per un punto critico della sezione trasversale, a meno che non si applichi la verifica di instabilità secondo la Sezione 5 della EN 1993-1-5.

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/(\sqrt{3}\,\gamma_{M0})} \leq 1{,}0 \qquad (6.19)$$

dove:

$\tau_{Ed}$ può essere ottenuto da:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}S}{It} \qquad (6.20)$$

dove:

$V_{Ed}$ è il valore di progetto della sollecitazione di taglio;

$S$ è il momento statico intorno all'asse baricentrico di quella porzione della sezione trasversale compresa fra il punto in cui si valuta la tensione tangenziale e il contorno della sezione trasversale;

$I$ è il momento di inerzia dell'intera sezione trasversale;

$t$ è lo spessore nel punto considerato.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Nota La verifica secondo (4) è conservativa poiché essa esclude la parziale distribuzione plastica delle tensioni tangenziali, che è consentita nella progettazione elastica, vedere (5). Pertanto si raccomanda che essa sia eseguita solo qualora non sia possibile effettuare la verifica sulla base di $V_{c,Rd}$, secondo l'equazione (6.17).

(5) Per sezioni a I o H la tensione tangenziale nell'anima è fornita da:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ se } A_f/A_w \geq 0{,}6 \qquad (6.21)$$

dove:

$A_f$ è l'area di un'ala;

$A_w$ è l'area dell'anima: $A_w = h_w\, t_w$.

(6) In aggiunta si raccomanda che la resistenza per instabilità a taglio di anime senza irrigidimenti intermedi sia valutata secondo la Sezione 5 della EN 1993-1-5, se:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72\frac{\varepsilon}{\eta} \qquad (6.22)$$

Per $\eta$ vedere Sezione 5 della EN 1993-1-5.

Nota $\eta$ può essere posto conservativamente pari a 1,0.

(7) Non è necessario considerare i fori per i dispositivi di giunzione nella verifica a taglio a eccezione della verifica della resistenza di progetto a taglio nelle zone di giunzione come indicato nella EN 1993-1-8.

(8) Qualora la forza tagliante sia combinata con un momento torcente si raccomanda che la resistenza plastica a taglio $V_{pl,Rd}$ sia ridotta come specificato nel punto 6.2.7(9).

### 6.2.7 Torsione

(1) Per membrature soggette a torsione per le quali possono essere trascurate le deformazioni distorsionali, si raccomanda che il valore di progetto del momento torcente $T_{Ed}$ in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale soddisfi la relazione:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (6.23)$$

dove:

$T_{Rd}$ è la resistenza di progetto torsionale della sezione trasversale.

(2) Si raccomanda che il momento torsionale totale $T_{Ed}$ in ogni sezione trasversale sia considerato come somma di due effetti interni:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,\,Ed} \qquad (6.24)$$

dove:

$T_{t,Ed}$ è valore di progetto della sollecitazione torcente primaria;

$T_{w,\,Ed}$ è valore di progetto della sollecitazione torcente secondaria.

(3) I valori di $T_{t,Ed}$ e $T_{w,Ed}$ in ogni sezione trasversale possono essere determinati da $T_{Ed}$ mediante analisi elastica considerando le proprietà della sezione della membratura, le condizioni di vincolo agli appoggi e la distribuzione delle azioni lungo la membratura.

(4) Si raccomanda di considerare le seguenti tensioni dovute alla torsione:

- le tensioni tangenziali $\tau_{t,Ed}$ dovute alla torsione primaria $T_{t,Ed}$;
- le tensioni normali $\sigma_{w,Ed}$ dovute al bimomento $B_{Ed}$ e le tensioni tangenziali $\tau_{w,Ed}$ dovute alla torsione secondaria $T_{w,Ed}$.

(5) Per la verifica elastica può essere applicato il criterio di snervamento fornito nel punto 6.2.1(5).

(6) Per determinare la resistenza flessionale plastica della sezione trasversale in presenza di flessione e torsione si raccomanda che solo gli effetti torsionali $B_{Ed}$ siano derivati dall'analisi elastica, vedere punto (3).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(7) Nel caso di membrature aventi sezione trasversale cava chiusa, come le sezioni tubolari, per semplicità può assumersi che gli effetti della torsione secondaria possono essere trascurati. Nel caso di membrature con sezione trasversale aperta, come le sezioni a I o H, sempre come semplificazione, può assumersi che gli effetti della torsione primaria possano essere trascurati.

(8) Per il calcolo della resistenza $T_{Rd}$ di sezioni cave chiuse si raccomanda che sia considerato il valore di progetto della resistenza a taglio delle singole parti della sezione trasversale secondo la EN 1993-1-5.

(9) Per azioni combinate di taglio e momento torcente si raccomanda che la resistenza plastica a taglio per effetto della presenza di un momento torcente sia ridotta da $V_{pl,Rd}$ a $V_{pl,T,Rd}$ e che il valore di progetto della sollecitazione di taglio verifichi:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.25}$$

in cui $V_{pl,T,Rd}$ può essere ottenuto come segue:

- per una sezione a I o H:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1{,}25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd} \tag{6.26}$$

- per una sezione a C:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1{,}25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd} \tag{6.27}$$

- per una sezione tubolare:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd} \tag{6.28}$$

dove:

$V_{pl,Rd}$ è fornito nel punto 6.2.6.

### 6.2.8 Flessione e taglio

(1) Qualora la sollecitazione di taglio sia presente si raccomanda di considerare il suo effetto sulla resistenza a flessione.

(2) Qualora la forza tagliante sia minore della metà della resistenza a taglio il suo effetto sulla resistenza a flessione può essere trascurato ad eccezione del caso in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza della sezione, vedere EN 1993-1-5.

(3) Al contrario, si raccomanda che la resistenza a flessione ridotta sia assunta pari al valore di progetto della resistenza della sezione trasversale calcolato utilizzando una resistenza di snervamento ridotta:

$$(1-\rho)f_y \tag{6.29}$$

per l'area resistente a taglio,

dove:

$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2$ e $V_{pl,Rd}$ è ottenuto dal punto 6.2.6(2).

Nota Vedere anche punto 6.2.10(3).

(4) Qualora sia presente una torsione si raccomanda che sia ottenuto da:

$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1\right)^2$, vedere punto 6.2.7, ma si raccomanda che $\rho$ sia pari a 0 per $V_{Ed} \leq 0{,}5\ V_{pl,T,Rd}$.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(5) In alternativa, nel caso di sezioni trasversali a I con ali uguali e flessione intorno all'asse di maggiore inerzia, il momento resistente plastico di progetto ridotto per effetto della presenza di sollecitazioni di taglio può essere ottenuto come segue:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w}\right] f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{con la limitazione } M_{y,V,Rd} \le M_{y,c,Rd} \tag{6.30}$$

dove:

$M_{y,c,Rd}$ è ottenuto dal punto 6.2.5(2), e

$A_w = h_w t_w$

(6) Per l'interazione tra flessione, taglio e carichi trasversali vedere Sezione 7 della EN 1993-1-5.

## 6.2.9 Flessione e forza assiale

### 6.2.9.1 Sezioni trasversali di classe 1 e 2

(1) Qualora sia presente una forza assiale, si raccomanda di considerare il suo effetto sulla resistenza plastica a flessione.

(2)P Per sezioni trasversali di classe 1 e 2, deve essere soddisfatto il seguente criterio:

$$M_{Ed} \le M_{N,Rd} \tag{6.31}$$

dove:

$M_{N,Rd}$ è valore di progetto della resistenza plastica a flessione ridotto per effetto della presenza della forza assiale $N_{Ed}$.

(3) Nel caso di sezioni rettangolari piene senza fori per dispositivi di giunzione, si raccomanda che $M_{N,Rd}$ sia assunto pari a:

$$M_{N,Rd} \le M_{pl,Rd} \left[1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2\right] \tag{6.32}$$

(4) Nel caso di sezioni a I e H doppiamente simmetriche o di altre sezioni munite di ali, non è necessario considerare gli effetti della forza assiale sul momento resistente plastico intorno all'asse y-y quando sono soddisfatti entrambi i seguenti criteri:

$$N_{Ed} \le 0{,}25\, N_{pl,Rd} \tag{6.33}$$

e

$$N_{Ed} \le \frac{0{,}5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \tag{6.34}$$

Nel caso di sezioni a I e H doppiamente simmetriche, non è necessario considerare gli effetti della forza assiale sul momento resistente plastico intorno all'asse z-z quando:

$$N_{Ed} \le \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \tag{6.35}$$

(5) Per sezioni trasversali per le quali la presenza di fori per dispositivi di giunzione non è stata considerata, nel caso di profilati laminati a I o H e di profilati saldati a I o H con ali uguali possono essere utilizzate le seguenti approssimazioni:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}(1-n)/(1-0{,}5a) \text{ con la limitazione } M_{N,y,Rd} \le M_{pl,y,Rd} \tag{6.36}$$

$$\text{per } n \le a\text{: } M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \tag{6.37}$$

$$\text{per } n > a\text{: } M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}\left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right] \tag{6.38}$$

dove:

$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$;

$a = (A - 2\, bt_f)/A$ con la limitazione $a \le 0{,}5$.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Per sezioni trasversali per le quali la presenza di fori per dispositivi di giunzione non è stata considerata, nel caso di profilati tubolari rettangolari con spessore costante e di profilati a cassone saldati aventi ali uguali e anime uguali, possono essere utilizzate le seguenti approssimazioni:

$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}(1-n)/(1-0{,}5a_w)$ con la limitazione $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$ (6.39)

$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}(1-n)/(1-0{,}5a_f)$ con la limitazione $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$ (6.40)

dove:

$a_w = (A - 2\,bt)/A$ con la limitazione $a_w \leq 0{,}5$ per profilati tubolari;

$a_w = (A - 2\,bt_f)/A$ con la limitazione $a_w \leq 0{,}5$ per profilati a cassone saldati;

$a_f = (A - 2\,ht)/A$ con la limitazione $a_f \leq 0{,}5$ per profilati tubolari;

$a_f = (A - 2\,ht_w)/A$ con la limitazione $a_f \leq 0{,}5$ per profilati a cassone saldati.

(6) Per flessione biassiale può essere utilizzato il seguente criterio:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^{\beta} \leq 1 \qquad (6.41)$$

in cui e sono costanti, le quali possono conservativamente essere assunte di valore unitario, o in alternativa possono essere assunte come di seguito indicato:

- per profilati a I e H:

  $\alpha = 2$; $\beta = 5\,n$ con la limitazione $\beta \geq 1$

- per profilati tubolari circolari:

  $\alpha = 2$; $\beta = 2$

  $M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd}\,(1 - n^{1,7})$

- per profilati tubolari rettangolari:

  $$\alpha = \beta = \frac{1{,}66}{1 - 1{,}13n^2} \text{ con la limitazione } \alpha = \beta \leq 6$$

  dove:

  $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$.

6.2.9.2 Sezioni di classe 3

(1)P In assenza di sollecitazione di taglio la verifica delle sezioni trasversali di classe 3 la tensione longitudinale massima deve soddisfare il criterio:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (6.42)$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$ è il valore di progetto della tensione longitudinale locale dovuta a flessione e sollecitazione di taglio valutata considerando, qualora pertinente, i fori per dispositivi di giunzione, vedere punti 6.2.3, 6.2.4 e 6.2.5.

6.2.9.3 Sezioni di classe 4

(1)P In assenza di sollecitazione di taglio, per le sezioni di classe 4 la tensione longitudinale massima $\sigma_{x,Ed}$ calcolata utilizzando le sezioni trasversali efficaci [vedere punto 5.5.2(2)] deve soddisfare il criterio:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (6.43)$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$ è il valore di progetto della tensione longitudinale dovuta a flessione e sforzo normale considerando, qualora pertinente, i fori per dispositivi di giunzione, vedere punti 6.2.3, 6.2.4 e 6.2.5.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(2) Come alternativa al criterio di cui al punto (1), può essere utilizzato il seguente criterio semplificato:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \qquad (6.44)$$

dove:

$A_{eff}$ è l'area efficace dalla sezione trasversale quando essa sia soggetta a compressione uniforme;

$W_{eff,min}$ è il modulo di sezione efficace (corrispondente alla fibra con la tensione elastica massima) della sezione trasversale quando essa è soggetta alla sola flessione intorno all'asse di interesse;

$e_N$ è l'eccentricità del relativo asse baricentrico quando la sezione trasversale è soggetta a compressione uniforme, vedere punto 6.2.2.5(4).

Nota I segni di $N_{Ed}$, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ e $\Delta M_i = N_{Ed}\, e_{Ni}$ dipendono dalla combinazione delle rispettive tensioni normali.

### 6.2.10 Flessione, taglio e forza assiale

(1) Qualora siano presenti sollecitazione di taglio e sforzo normale, si raccomanda di considerare l'effetto della sollecitazione di taglio e dello sforzo normale sulla resistenza a flessione.

(2) A condizione che il valore di progetto della sollecitazione di taglio $V_{Ed}$ non ecceda il 50% del valore di progetto della resistenza plastica a taglio $V_{pl.Rd}$ non è necessaria alcuna riduzione delle resistenze a flessione e a forza assiale definite nel punto 6.2.9, ad eccezione del caso in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza della sezione, vedere EN 1993-1-5.

(3) Qualora $V_{Ed}$ ecceda il 50% di $V_{pl.Rd}$, si raccomanda di calcolare il valore di progetto della resistenza della sezione trasversale alle combinazioni di flessione e sforzo nomale utilizzando una resistenza di snervamento ridotta:

$$(1 - \rho) f_y \qquad (6.45)$$

per l'area resistente a taglio,

dove:

$\rho = (2\, V_{ed}/V_{pl.Rd} - 1)^2$, e

$V_{pl.Rd}$ è ottenuto dal punto 6.2.6(2).

Nota In alternativa alla riduzione della resistenza di snervamento può essere ridotto anche lo spessore dell'elemento di interesse della sezione trasversale.

## 6.3 Resistenza delle membrature all'instabilità

### 6.3.1 Membrature compresse uniformemente

#### 6.3.1.1 Resistenza all'instabilità

(1) Si raccomanda che una membratura compressa sia verificata contro l'instabilità come segue:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (6.46)$$

dove:

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione;

$N_{b,Rd}$ è la resistenza di progetto per instabilità della membratura compressa.

(2) Nel caso di membrature con sezioni non simmetriche di classe 4 si raccomanda di considerare l'effetto del momento aggiuntivo $\Delta M_{Ed}$ dovuto all'eccentricità dell'asse baricentrico della sezione efficace, vedere anche punto 6.6.2.5(4) e di considerare l'interazione secondo il punto 6.3.4 o il punto 6.3.3.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(3) Si raccomanda che la resistenza di progetto per instabilità della membratura compressa sia assunta pari a:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 1, 2 e 3} \tag{6.47}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 4} \tag{6.48}$$

dove:

$\chi$ è il coefficiente di riduzione per il modo instabile pertinente.

Nota Per la determinazione della resistenza per instabilità, nel caso di membrature con sezione variabile lungo il loro sviluppo o per distribuzione non uniforme degli sforzi normali di compressione, può essere condotta una analisi del secondo ordine secondo il punto 5.3.4(2). Per instabilità fuori dal piano vedere anche punto 6.3.4.

(4) Nella determinazione di $A$ e $A_{eff}$ non è necessario considerare i fori per dispositivi di giunzione posti alle estremità delle colonne.

6.3.1.2 Curve di instabilità

(1) Nel caso di membrature soggette a compressione assiale si raccomanda che il valore di $\chi$ per l'appropriata snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$ sia determinato dalla curva di instabilità pertinente con l'equazione:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{con la limitazione } \chi \leq 1{,}0 \tag{6.49}$$

dove:

$$\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2\right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 1, 2 e 3;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 4;}$$

$\alpha$ è il coefficiente di imperfezione;

$N_{cr}$ è il carico critico elastico per il modo instabile pertinente basato sulle proprietà della sezione trasversale lorda.

(2) Si raccomanda che il coefficiente di imperfezione $\alpha$ corrispondente alla curva di instabilità appropriata sia ottenuto dal prospetto 6.1 e dal prospetto 6.2.

prospetto 6.1 **Coefficienti di imperfezione per curve di instabilità**

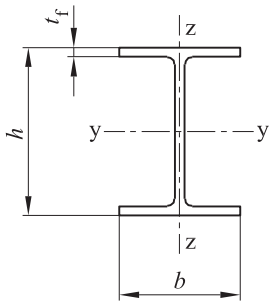
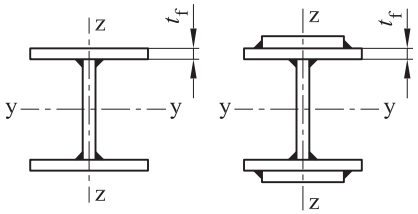
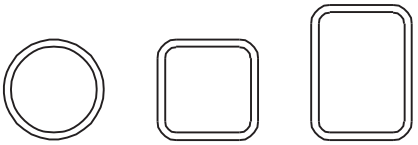
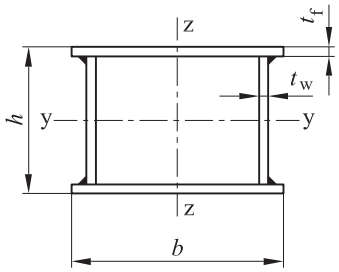
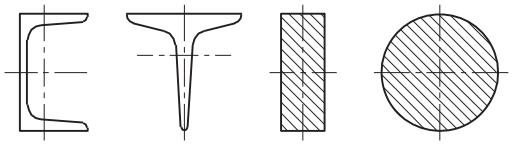
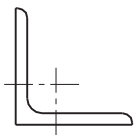
| Curva di instabilità | $a_0$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di imperfezione $\alpha$ | 0,13 | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

(3) I valori del coefficiente di riduzione $\chi$ per l'appropriata snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$ può essere ottenuto dalla figura 6.4.

(4) Per snellezze $\bar{\lambda} \leq 0{,}2$ o per $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0{,}04$ gli effetti dell'instabilità possono essere ignorati e si applicano solo verifiche della sezione trasversale.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 6.2 **Selezione della curva di instabilità per una sezione trasversale**

| Sezione trasversale | | Limiti | | Instabilità intorno all'asse | Curva di instabilità | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | S 235<br>S 275<br>S 355<br>S 420 | S 460 |
| Sezioni laminate |  | $h/b > 1{,}2$ | $t_f \leq 40$ mm | y - y<br>z - z | *a*<br>*b* | $a_0$<br>$a_0$ |
| | | | 40 mm < $t_f \leq 100$ mm | y - y<br>z - z | *b*<br>*c* | *a*<br>*a* |
| | | $h/b \leq 1{,}2$ | $t_f \leq 100$ mm | y - y<br>z - z | *b*<br>*c* | *a*<br>*a* |
| | | | $t_f > 100$ mm | y - y<br>z - z | *d*<br>*d* | *c*<br>*c* |
| Sezioni al saldate |  | $t_f \leq 40$ mm | | y - y<br>z - z | *b*<br>*c* | *b*<br>*c* |
| | | $t_f > 40$ mm | | y - y<br>z - z | *c*<br>*d* | *c*<br>*d* |
| Sezioni tubolari |  | Laminate a caldo | | qualunque | *a* | $a_0$ |
| | | Formate a freddo | | qualunque | *c* | *c* |
| Sezioni a cassone saldate |  | In generale (ad eccezione di quanto riportato sotto) | | qualunque | *b* | *b* |
| | | Saldature spesse: $a > 0{,}5\ t_f$<br>$b/t_f < 30$<br>$h/t_w < 30$ | | qualunque | *c* | *c* |
| Sezioni a U, T e sezioni piene |  | | | qualunque | *c* | *c* |
| Sezioni a L |  | | | qualunque | *b* | *b* |

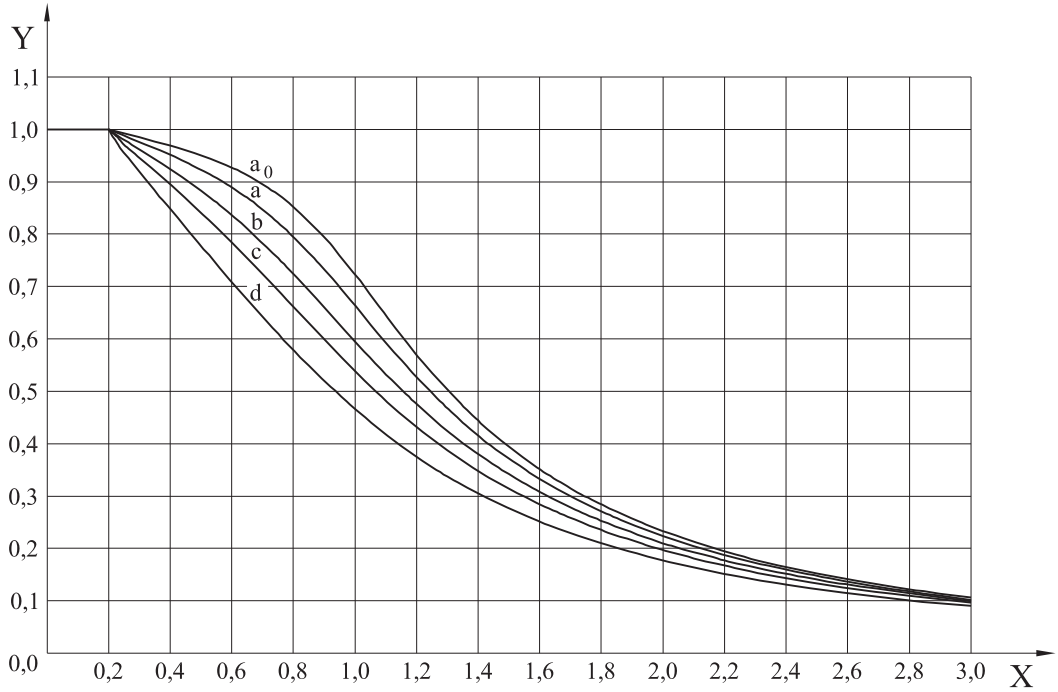
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 6.4 **Curve di instabilità**

Legenda

X Snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$

Y Coefficiente di riduzione $\chi$




6.3.1.3 Snellezza per instabilità flessionale

(1) La snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$ è fornita da:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1} \text{ per sezioni trasversali di classe 1, 2 e 3} \qquad (6.50)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \text{ per sezioni trasversali di classe 4} \qquad (6.51)$$

dove:

$L_{cr}$ è la lunghezza di libera inflessione nel piano di instabilità considerato;

$i$ è il raggio di inerzia intorno all'asse appropriato, determinato utilizzando le proprietà dalla sezione trasversale lorda.

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9\,\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = (f_y \text{ in N/mm}^2)$$

Nota B Per l'instabilità elastica dei componenti di strutture di edifici vedere appendice BB.

(2) Per l'instabilità flessionale si raccomanda che le curve di instabilità appropriate siano determinate dal prospetto 6.2.

6.3.1.4 Snellezza per instabilità torsionale e flesso-torsionale

(1) Per membrature con sezioni trasversali aperte si raccomanda che sia considerata la possibilità che la resistenza della membratura rispetto all'instabilità torsionale o flesso-torsionale possa essere inferiore alla sua resistenza all'instabilità flessionale.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(2) Si raccomanda che la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_T$ per instabilità torsionale o flesso-torsionale sia assunta pari a:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \text{ per sezioni trasversali di classe 1, 2 e 3} \tag{6.52}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \text{ per sezioni trasversali di classe 4} \tag{6.53}$$

dove:

$N_{cr} = N_{cr,Tf}$ con la limitazione $N_{cr} < N_{cr,T}$;

$N_{cr,TF}$ è il carico critico elastico per instabilità torsionale-flessionale;

$N_{cr,T}$ è il carico critico elastico per instabilità torsionale.

(3) Per l'instabilità torsionale o flesso-torsionale la curva di instabilità appropriata può essere determinata dal prospetto 6.2 considerando quella relativa all'asse z.

## 6.3.2 Membrature uniformi inflesse

### 6.3.2.1 Resistenza all'instabilità

(1) Si raccomanda che una membratura non vincolata lateralmente soggetta a flessione intorno all'asse di maggiore inerzia sia verificata contro l'instabilità flesso-torsionale con la relazione seguente:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.54}$$

dove:

$M_{Ed}$ è il valore di progetto del momento;

$M_{b,Rd}$ è il momento resistente di progetto per instabilità.

(2) Travi con ala compressa sufficientemente vincolata non sono soggette all'instabilità flesso-torsionale. In aggiunta, travi con alcuni tipi di sezioni trasversali, come sezioni tubolari quadrate o circolari, tubi con sezione circolare o sezioni a cassone quadrate non sono soggette all'instabilità flesso-torsionale.

(3) Si raccomanda che il momento resistente di progetto per instabilità di una trave non vincolata lateralmente sia assunto pari a:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \tag{6.55}$$

dove:

$W_y$ è il modulo di resistenza appropriato assunto pari a:

- $W_y = W_{pl,y}$ per sezioni trasversali di classe 1 e 2,
- $W_y = W_{el,y}$ per sezioni trasversali di classe 3,
- $W_y = W_{eff,y}$ per sezioni trasversali di classe 4;

$\chi_{LT}$ è il coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale.

Nota 1 Per la determinazione della resistenza all'instabilità di travi con sezione variabile può essere condotta un'analisi del secondo ordine secondo il punto 5.3.4(2). Per instabilità fuori dal piano vedere anche punto 6.3.4.

Nota 2B Per l'instabilità dei componenti delle strutture degli edifici vedere anche l'appendice BB.

(4) Nella determinazione di $W_y$ non è necessario considerare i fori per dispositivi di giunzione posizionati alle estremità delle travi.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

6.3.2.2 Curve di instabilità flesso-torsionale - Caso generale

(1) Per membrature inflesse con sezione trasversale costante, se non diversamente specificato, vedere punto 6.3.2.3, si raccomanda che il valore di $\chi_{LT}$ per l'appropriata snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_{LT}$ sia determinato da:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{con la limitazione } \chi_{LT} \leq 1{,}0 \tag{6.56}$$

dove:

$$\Phi_{LT} = 0{,}5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$\bar{\lambda}_{LT}$ è un coefficiente di imperfezione;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$ è il momento critico elastico per l'instabilità flesso-torsionale;

(2) $M_{cr}$ è basato sulle proprietà della sezione trasversale lorda e considera le condizioni di carico, della effettiva distribuzione del momento e dei vincoli laterali.

Nota Il coefficiente di imperfezione $\alpha_{LT}$ corrispondente alla curva di instabilità appropriata può essere ottenuto dall'appendice nazionale. I valori raccomandati di $\alpha_{LT}$ sono forniti nel prospetto 6.3.

prospetto 6.3 **Valori raccomandati per i coefficienti di imperfezione relativi alle curve di instabilità flesso-torsionale**

| Curva di instabilità | *a* | *b* | *c* | *d* |
|---|---|---|---|---|
| Coefficiente di imperfezione $\alpha_{LT}$ | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Le raccomandazioni per le curve di instabilità sono fornite nel prospetto 6.4.

prospetto 6.4 **Valori raccomandati per le curve di instabilità flesso-torsionale relative a sezioni trasversali utilizzando l'equazione (6.56)**

| Sezione trasversale | Limiti | Curva di instabilità |
|---|---|---|
| Sezioni a I laminate | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | *a*<br>*b* |
| Sezioni a I saldate | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | *c*<br>*d* |
| Altre sezioni trasversali | - | *d* |

(3) I valori del coefficiente di riduzione $\chi_{LT}$ per l'appropriata snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_{LT}$ può essere ottenuto dalla figura 6.4.

(4) Per snellezze $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ (vedere punto 6.3.2.3) o per $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$ (vedere punto 6.3.2.3) gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere ignorati e si applicano solo verifiche della sezione trasversale.

6.3.2.3 Curve di instabilità flesso-torsionale per sezioni laminate o sezioni saldate equivalenti

(1) Per sezioni inflesse laminate o saldate equivalenti i valori di $\chi_{LT}$ per l'appropriata snellezza adimensionale possono essere determinati con l'equazione:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta\bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{con la limitazione} \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1{,}0 \\ \chi_{LT} \leq \dfrac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \tag{6.57}$$

$$\Phi_{LT} = 0{,}5\left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta\bar{\lambda}_{LT}^2\right]$$

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Nota I parametri $\overline{\lambda}_{LT,0}$ e $\beta$ ed eventuali limitazioni di validità riguardanti l'altezza della trave o il rapporto $h/b$ possono essere forniti nell'appendice nazionale. I seguenti valori sono raccomandati per sezioni laminate o sezioni saldate equivalenti:

$\overline{\lambda}_{LT,0}$ = 0,4 (valore massimo);

$\beta$ = 0,75 (valore minimo).

Le raccomandazioni per le curve di instabilità sono fornite nel prospetto 6.5.

prospetto 6.5 **Raccomandazioni per la selezione delle curve di instabilità flesso-torsionale relative a sezioni trasversali utilizzando dell'equazione (6.57)**

| Sezione trasversale | Limiti | Curva di instabilità |
|---|---|---|
| Sezioni a I laminate | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | $b$<br>$c$ |
| Sezioni a I saldate | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | $c$<br>$d$ |

(2) Per considerare la distribuzione del momento tra i vincoli laterali delle membrature il coefficiente di riduzione $\chi_{LT}$ può essere modificato come segue:

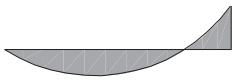
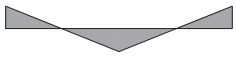
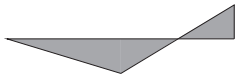
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \text{ con la limitazione } \begin{cases} \chi_{LT,mod} \leq 1{,}0 \\ \chi_{LT,mod} \leq \dfrac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \tag{6.58}$$

Nota I valori di $f$ possono essere definiti nell'appendice nazionale. Si raccomandano i seguenti valori minimi:

$f = 1 - 0{,}5\,(1 - k_c)\,[1 - 2{,}0\,(\overline{\lambda}_{LT,0} - 0{,}8)^2]$ con la limitazione $f \leq 1{,}0$;

$k_c$ è il coefficiente correttivo secondo il prospetto 6.6.

prospetto 6.6 **Coefficiente di correzione $k_c$**

| Distribuzione del momento | $k_c$ |
|---|---|
| <br>$\psi = 1$ | 1,0 |
| <br>$-1 \leq \psi \leq 1$ | $\dfrac{1}{1{,}33 - 0{,}33\,\psi}$ |
| | 0,94 |
| | 0,90 |
|  | 0,91 |
| | 0,86 |
|  | 0,77 |
|  | 0,82 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

6.3.2.4 Metodi semplificati di verifica per travi di edifici con vincoli

(1)B Membrature con vincoli laterali discreti disposti sull'ala compressa non sono soggette a instabilità flesso-torsionale se la distanza $L_c$ tra i vincoli o la snellezza risultante $\bar{\lambda}_f$ dell'ala compressa equivalente soddisfa la seguente relazione:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z}\lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0}\frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \tag{6.59}$$

dove:

$M_{y,Ed}$ è il massimo valore di progetto del momento flettente del tratto compreso tra i vincoli;

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y$ è il modulo appropriato della Sezione corrispondente all'ala compressa;

$k_c$ è il coefficiente di correzione della snellezza per la distribuzione del momento tra i vincoli, vedere prospetto 6.6;

$i_{f,z}$ è il raggio di inerzia dell'ala compressa equivalente composta dall'ala compressa e da 1/3 della parte compressa dell'anima, valutato rispetto all'asse di minore inerzia della sezione;

$\bar{\lambda}_{c0}$ è la snellezza limite dell'ala compressa equivalente sopra definita;

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9\,\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}\ (f_y \text{ in N/mm}^2)$$

Nota 1B Per sezioni trasversali di classe 4 $i_{f,z}$ può essere assunto pari a:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3}A_{eff,w,c}}}$$

dove:

$I_{eff,f}$ è il momento di inerzia efficace dell'area dell'ala compressa intorno all'asse di minore inerzia della sezione;

$A_{eff,f}$ è l'area efficace dell'ala compressa;

$A_{eff,w,c}$ è l'area efficace della parte compressa dell'anima.

Nota 2B La snellezza limite $\bar{\lambda}_{c0}$ può essere fornita nell'appendice nazionale. Un valore limite pari a $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0{,}1$ è raccomandato, vedere punto 6.3.2.3.

(2)B Se la snellezza dell'ala compressa $\bar{\lambda}_f$ eccede il limite fornito in (1)B, il momento di progetto resistente per instabilità può essere assunto pari a:

$$M_{b,Rd} = k_{f\ell}\,\chi\,M_{c,Rd} \text{ con la limitazione } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \tag{6.60}$$

dove:

$\chi$ è il coefficiente di riduzione dell'ala compressa equivalente determinato con $\bar{\lambda}_f$;

$k_{f\ell}$ è il coefficiente di modifica che considera la valutazione conservativa fornita dal metodo dell'ala compressa equivalente.

Nota B Il coefficiente di modifica può essere fornito nell'appendice nazionale. Un valore $k_{f\ell}$ = 1,10 è raccomandato.

(3)B Si raccomanda che le curve di instabilità da utilizzarsi in (2)B siano assunte come segue:

curva *d* per sezioni saldate a condizione che: $\frac{h}{t_f} \leq 44\,\varepsilon$;

curva *c* per tutte le altre sezioni;

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

dove:

$h$ è l'altezza totale della sezione trasversale;

$t_f$ è lo spessore dell'ala compressa.

Nota B Per l'instabilità flesso-torsionale di elementi strutturali di edifici con vincoli vedere appendice BB.3.

### 6.3.3 Membrature uniformi soggette a flessione e compressione assiale

(1) Ad eccezione del caso in cui sia condotta un'analisi del secondo ordine utilizzando le imperfezioni fornite nel punto 5.3.2, si raccomanda che la stabilità delle membrature uniformi con sezioni a doppia simmetria non soggette a deformazioni distorsionali sia verificata come indicato nei seguenti punti, nei quali si considera la seguente distinzione:

- membrature che non sono soggette a deformazioni torsionali, per esempio sezioni tubolari circolari o sezioni vincolate a torsione
- membrature che sono soggette a deformazioni torsionali, per esempio membrature con sezioni trasversali aperte e non vincolate a torsione.

(2) In aggiunta, si raccomanda che la resistenza delle sezioni trasversali per ciascuna estremità della membratura soddisfi i requisiti forniti nel punto 6.2.

Nota 1 Le formule di interazione sono basate sul modello di trave semplicemente appoggiata a singola campata, vincoli a forcella alle estremità, con o senza vincoli laterali continui e soggetta a forze di compressione, momenti applicati alle estremità e/o carichi trasversali.

Nota 2 Nel caso le condizioni di applicazione fornite in (1) e (2) non siano rispettate vedere punto 6.3.4.

(3) Per membrature appartenenti a sistemi strutturali la verifica di resistenza può essere eseguita considerando la membratura isolata, estratta dal sistema ed avente singola campata. Gli effetti del secondo ordine dovuti agli spostamenti laterali del sistema (effetti $P-\Delta$) devono essere considerati rispettivamente o mediante la determinazione dei momenti alle estremità della membratura o mediante appropriate lunghezze di libera inflessione, vedere punto 5.2.2(3)c) e il punto 5.2.2(8).

(4) Si raccomanda che le membrature soggette a pressoflessione soddisfino le relazioni:

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\dfrac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\dfrac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \qquad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\dfrac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\dfrac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \qquad (6.62)$$

dove:

| | |
|---|---|
| $N_{Ed}$, $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$ | sono rispettivamente i valori di progetto della forza di compressione e dei momenti flettenti massimi lungo la membratura intorno agli assi y-y e z-z; |
| $\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ | sono i momenti flettenti dovuti all'eccentricità degli assi baricentrici secondo il punto 6.2.9.3 per sezioni di classe 4, vedere prospetto 6.7; |
| $\chi_y$ e $\chi_z$ | sono i coefficienti di riduzione dovuti all'instabilità flessionale ricavati dal punto 6.3.1; |
| $\chi_{LT}$ | è il coefficiente di riduzione dovuto all'instabilità flesso-torsionale ricavato dal punto 6.3.2; |
| $k_{yy}$, $k_{yz}$, $k_{zy}$, $k_{zz}$ | sono i coefficienti di interazione. |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 6.7 **Valori per $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ e $\Delta M_{i,Ed}$**

| Classe | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $A_i$ | A | A | A | $A_{eff}$ |
| $W_y$ | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,y}$ | $W_{el,y}$ | $W_{eff,y}$ |
| $W_z$ | $W_{pl,z}$ | $W_{pl,z}$ | $W_{el,z}$ | $W_{eff,z}$ |
| $\Delta M_{y,Ed}$ | 0 | 0 | 0 | $e_{N,y} N_{Ed}$ |
| $\Delta M_{z,Ed}$ | 0 | 0 | 0 | $e_{N,z} N_{Ed}$ |

Nota Per membrature non soggette a deformazioni torsionali $\chi_{LT}$ sarebbe posto pari a $\chi_{LT} = 1{,}0$.

(5) I coefficienti di interazione $k_{yy}$, $k_{yz}$, $k_{zy}$, $k_{zz}$ dipendono dal metodo di calcolo selezionato.

Nota 1 I coefficienti di interazione $k_{yy}$, $k_{yz}$, $k_{zy}$ e $k_{zz}$ sono stati derivati da due approcci alternativi. I valori di questi coefficienti possono essere ottenuti dall'appendice A (metodo alternativo 1) o dall'appendice B (metodo alternativo 2).

Nota 2 L'appendice nazionale può fornire un'indicazione sulla scelta tra il metodo alternativo 1 e il metodo alternativo 2.

Nota 3 Per semplicità le verifiche possono essere eseguite esclusivamente in campo elastico.

### 6.3.4 Metodo generale per l'instabilità laterale e flesso-torsionale di componenti strutturali

(1) Qualora i metodi forniti nei punti 6.3.1, 6.3.2 e 6.3.3 non siano applicabili può essere utilizzato il metodo seguente. Esso consente la verifica della resistenza all'instabilità laterale e flesso-torsionale per componenti strutturali quali:

- membrature singole con sezioni trasversali monosimmetriche, composte o non, uniformi o non, con condizioni di vincolo complesse o non, oppure
- telai piani o sottotelai costituiti da tali membrature,

che sono soggette a compressione e/o flessione monoassiale nel piano ma che non contengono cerniere plastiche rotazionali.

Nota L'appendice nazionale può specificare il campo e i limiti di applicazione di questo metodo.

(2) La resistenza complessiva per instabilità fuori dal piano per un generico componente strutturale che sia conforme con quanto indicato in (1) può essere verificata assicurando che:

$$\frac{\chi_{op}\,\alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1{,}0 \qquad (6.63)$$

dove:

$\alpha_{ult,k}$ è il minimo amplificatore dei carichi di progetto per raggiungere la resistenza caratteristica della sezione trasversale maggiormente critica del componente strutturale considerando il suo comportamento nel piano trascurando l'instabilità laterale o flesso-torsionale e considerando tutti gli effetti dovuti a deformazioni e imperfezioni geometriche globali e locali agenti nel piano, qualora siano pertinenti;

$\chi_{op}$ è il coefficiente di riduzione per la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_{op}$, vedere (3), per considerare l'instabilità laterale e flesso-torsionale.

(3) Si raccomanda che la snellezza adimensionale globale $\bar{\lambda}_{op}$ per il componente strutturale sia determinata mediante la relazione seguente:

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}} \qquad (6.64)$$

dove:

$\alpha_{ult,k}$ è definito in (2);

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

$\alpha_{cr,op}$ è il minimo amplificatore per i carichi di progetto agenti nel piano per raggiungere il carico critico elastico del componente strutturale con riferimento all'instabilità laterale o flesso-torsionale senza considerare l'instabilità flessionale nel piano.

Nota Per la determinazione di $\alpha_{cr,op}$ e $\alpha_{ult,k}$ può essere utilizzata l'analisi agli elementi finiti.

(4) Il coefficiente di riduzione $\chi_{op}$ può essere determinato con uno dei seguenti metodi alternativi:

a) il valore minimo di:

$\chi$ per instabilità laterale secondo il punto 6.3.1;

$\chi_{LT}$ per instabilità flesso-torsionale secondo il punto 6.3.2,

ciascuno calcolato per la snellezza adimensionale globale $\bar{\lambda}_{op}$.

Nota Per esempio, qualora $\alpha_{ult,k}$ sia determinato dalla verifica della sezione trasversale $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$ questo metodo conduce a:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq \chi_{op} \tag{6.65}$$

b) un valore interpolato tra i valori $\chi$ e $\chi_{LT}$ come determinati in a) utilizzando la formula per $\alpha_{ult,k}$ corrispondente alla sezione trasversale critica.

Nota Per esempio, qualora $\alpha_{ult,k}$ sia determinato dalla verifica della sezione trasversale $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$ questo metodo conduce a:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1 \tag{6.66}$$

## 6.3.5 Instabilità flesso-torsionale di membrature con cerniere plastiche

### 6.3.5.1 Generalità

(1)B Le strutture possono essere progettate con l'analisi plastica a condizione che l'instabilità flesso-torsionale nel telaio sia impedita attaverso i seguenti accorgimenti:

a) vincoli in corispondenza delle cerniere plastiche "attive", vedere punto 6.3.5.2, e

b) verifica della lunghezza stabile del tratto di membratura tra questi vincoli e altri vincoli laterali, vedere punto 6.3.5.3.

(2)B Qualora sotto tutte le combinazioni di carico degli stati limite ultimi una cerniera plastica sia "non attiva" per essa non sono necessari vincoli.

### 6.3.5.2 Vincoli in corrispondenza delle cerniere plastiche attive

(1)B In ciascuna posizione della cerniera plastica attiva si raccomanda che la sezione trasversale abbia un vincolo laterale e torsionale efficace, con appropriata resistenza alle forze laterali e torsionali indotte dalle deformazioni plastiche locali della membratura in tale posizione.

(2)B Si raccomanda che il vincolo efficace sia fornito:

- da un vincolo laterale per entrambe le ali nel caso di membrature soggette a flessione o a flessione e sforzo normale. Tale vincolo può essere fornito da un vincolo laterale per un'ala e da un vincolo torsionale rigido per la sezione trasversale che sia in grado di impedire lo spostamento laterale relativo dell'ala compresa rispetto all'ala tesa, vedere figura 6.5.
- da un vincolo laterale e torsionale per l'ala compressa nel caso di membrature soggette a sola flessione o a flessione e trazione assiale per le quali l'ala compressa è a contatto con una soletta (per esempio collegando l'ala compressa alla soletta, vedere figura 6.6). Per sezioni trasversali che hanno snellezza maggiore rispetto alle sezioni laminate a I e H si raccomanda che in corrispondenza della cerniera plastica sia impedita la distorsione della sezione trasversale (per esempio mediante un irrigidimento d'anima collegato all'ala compressa, la quale risulti a sua volta collegata rigidamente alla soletta).

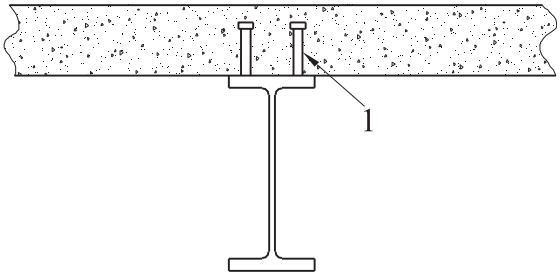
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 6.5 **Tipico vincolo torsionale rigido**

figura 6.6 **Tipico vincolo laterale e torsionale fornito da una soletta all'ala compressa**

Legenda

1 Ala compressa




(3)B In corrispondenza di ogni cerniera plastica si raccomanda che la connessione (per esempio bulloni) dell'ala compressa all'elemento vincolante in quel punto (per esempio arcareccio) ed eventuali elementi intermedi (per esempio controventi diagonali) siano progettati per resistere a una forza locale trasmessa dall'ala nel suo piano e perpendicolare al piano dell'anima pari ad almeno il 2,5% di $N_{f,Ed}$ [definito nel punto 6.3.5.2(5)B], senza considerare alcuna combinazione con altri carichi.

(4)B Qualora non sia possibile fornire un vincolo di questo tipo direttamente in corrispondenza della cerniera plastica, si raccomanda che esso sia fornito ad una distanza minore di $h/2$ misurata secondo lo sviluppo della membratura, dove $h$ è l'altezza totale in corrispondenza della cerniera plastica.

(5)B Per la progettazione di sistemi di controvento, vedere punto 5.3.3, in aggiunta alla verifica per l'imperfezione secondo il punto 5.3.3, si raccomanda di verificare che il sistema di controvento sia capace di resistere agli effetti di forze locali $Q_m$ applicate ad ogni membratura stabilizzata in corrispondenza delle cerniere plastiche, dove:

$$Q_M = 1{,}5\,\alpha_m \frac{N_{f,Ed}}{100} \qquad (6.67)$$

dove:

$N_{f,Ed}$ è la forza assiale nell'ala compressa della membratura stabilizzata in corrispondenza della cerniera plastica;

$\alpha_m$ è secondo il punto 5.3.3(1).

Nota Per la combinazione con carichi esterni vedere anche punto 5.3.3(5).

6.3.5.3 Verifica della lunghezza stabile del tratto di membratura

(1)B La verifica dell'instabilità flesso-torsionale dei tratti di membratura compresi tra vincoli può essere eseguita verificando che la distanza tra i vincoli sia non maggiore della lunghezza stabile.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

Per tratti di travi uniformi con sezioni trasversali a I o H $\frac{h}{t_f} \leq 40\varepsilon$ soggette a momento flettente variabile linearmente e in assenza di sforzi normali di compressione significativi la lunghezza stabile può essere ottenuta da:

$$L_{stable} = 35\varepsilon i_z \qquad \text{per } 0{,}625 \leq \psi \leq 1 \tag{6.68}$$

$$L_{stable} = (60 - 40\psi)\varepsilon i_z \qquad \text{per } -1 \leq \psi \leq 0{,}625$$

dove:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y[\text{N/mm}^2]}}$$

$\psi = \frac{M_{Ed,min}}{M_{pl,Rd}} =$ rapporto tra i momenti di estremità nel tratto di membratura.

Nota B Per la lunghezza stabile di un tratto di membratura vedere anche l'appendice BB.3.

(2)B Qualora la posizione della cerniera plastica attiva si trovi immediatamente adiacente a un estremo di un tratto ad altezza variabile, non è necessario analizzare il tratto a sezione variabile come un tratto adiacente a una cerniera plastica se i seguenti criteri sono soddisfatti:

a) il vincolo in corrispondenza della cerniera plastica è posizionato ad una distanza non maggiore di $h/2$ misurata dalla parte del tratto di membratura a sezione variabile e non del tratto a sezione costante;

b) l'ala compressa del rinforzo resta elastica lungo tutto il suo sviluppo.

Nota B Per maggiori informazioni vedere appendice BB.3.

## 6.4 Membrature composte uniformi soggette a compressione

### 6.4.1 Generalità

(1) Si raccomanda che le membrature composte uniformi soggette a compressione, aventi estremità incernierate e vincolate lateralmente, siano progettate con il seguente modello, vedere figura 6.7.

1) La membratura può essere considerata come una colonna avente una imperfezione locale in termini di curvatura $e_0 = \frac{L}{500}$.

2) Le deformazioni elastiche dei tralicci o dei calastrelli, vedere figura 6.7, possono essere considerate mediante una rigidezza tagliante continua (distribuita) $S_V$ della colonna.

Nota Per altre condizioni alle estremità possono essere fatte modifiche appropriate.

(2) Il modello di membratura composta uniforme soggetta a compressione si applica quando:

1) i tralicci o i calastrelli hanno moduli uguali con correnti paralleli;

2) il minimo numero di moduli in una membratura è pari a tre.

Nota Questa ipotesi consente di ottenere una struttura regolare e di considerare la struttura discreta come un continuo.

(3) La procedura di progettazione è applicabile a membrature composte aventi tralicci in due piani, vedere figura 6.8.

(4) I correnti possono essere membrature compatte o possono essere anch'esse membrature tralicciate o calastrellate nel piano perpendicolare.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 6.7 **Colonne composte uniformi con tralicci e calastrelli**

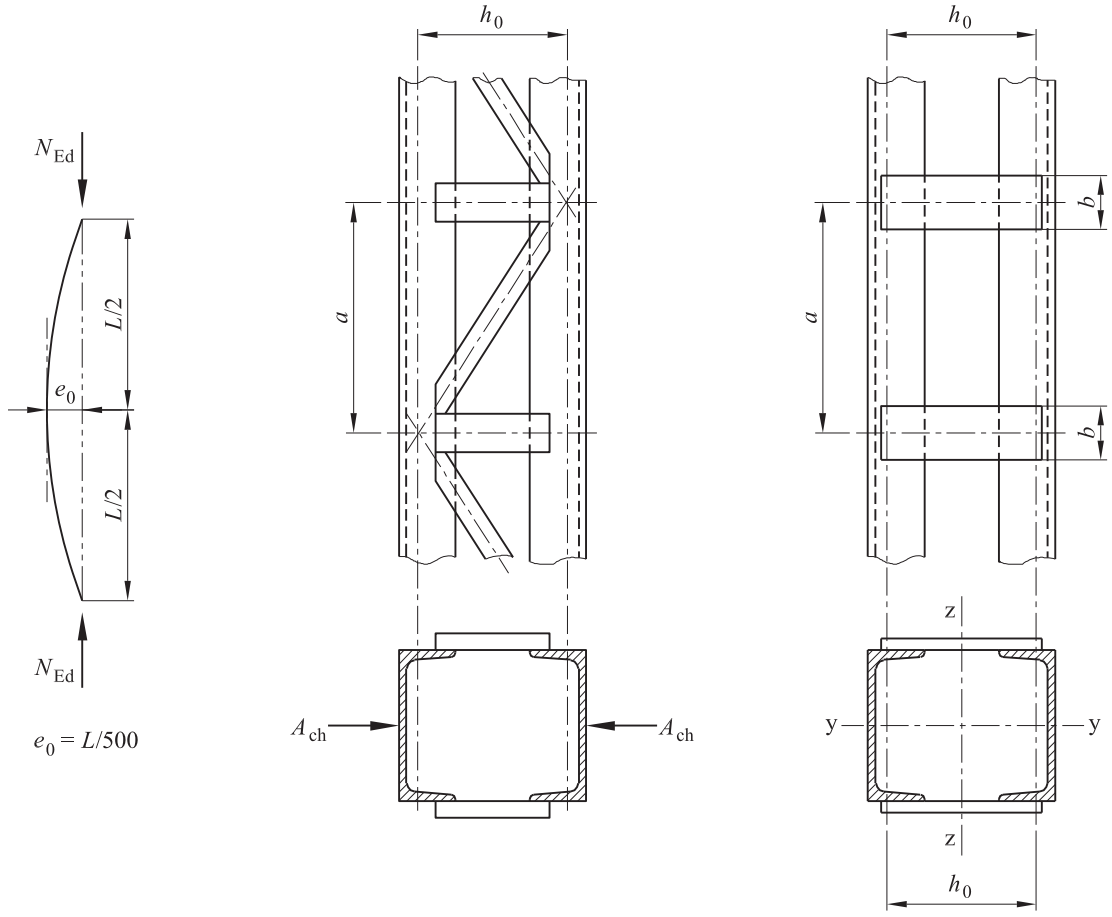
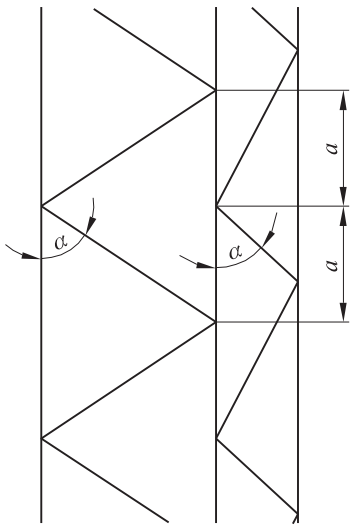
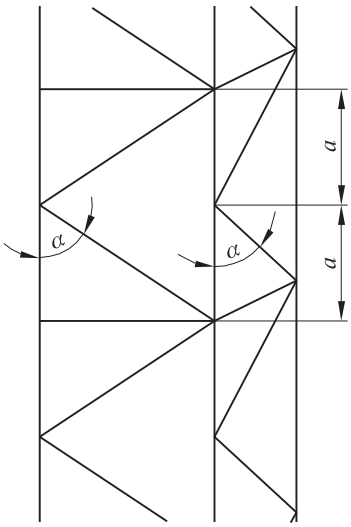



figura 6.8 **Tralicci su quattro lati e lunghezza di libera inflessione $L_{ch}$ dei correnti**

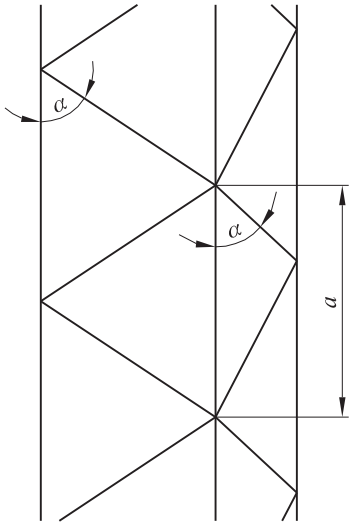



$L_{ch} = 1{,}52a$

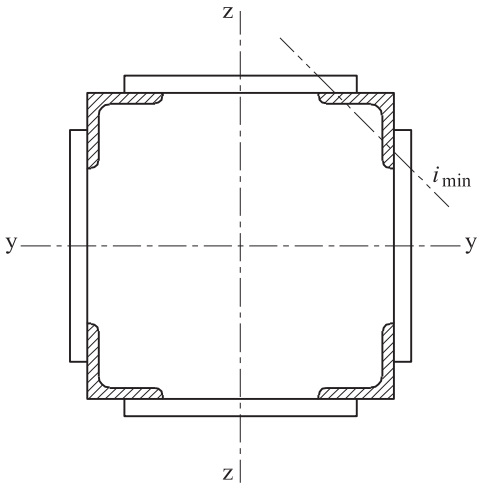
Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.




$L_{ch} = 1{,}28a$




$L_{ch} = a$



Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(5) Si raccomanda che i correnti siano verificati utilizzando le forze di progetto agenti in tali elementi $N_{ch,Ed}$ derivanti dalle forze di compressione $N_{Ed}$ e dai momenti flettenti $M_{Ed}$ agenti nella mezzeria della membratura composta.

(6) Per una membratura con due correnti identici si raccomanda che la forza di progetto $N_{ch,Ed}$ sia determinata dalla relazione:

$$N_{ch,Ed} = 0{,}5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}} \tag{6.69}$$

dove:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M^{I}_{Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$ è il carico critico efficace della membratura composta;

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione per la membratura composta;

$M_{Ed}$ è il valore di progetto del massimo momento nella mezzeria della membratura composta considerando gli effetti del secondo ordine;

$M^{I}_{Ed}$ è il valore di progetto del massimo momento nella mezzeria della membratura composta senza considerare effetti del secondo ordine;

$h_0$ è la distanza tra i baricentri dei correnti;

$A_{ch}$ è l'area della sezione trasversale di un corrente;

$I_{eff}$ è il momento di inerzia efficace della membratura composta, vedere punti 6.4.2 e 6.4.3;

$S_v$ è la rigidezza tagliante di un traliccio o calastrello, vedere punti 6.4.2 e 6.4.3.

(7) Si raccomanda che le verifiche per i tralicci di membrature composte tralicciate o per i momenti e le forze di taglio dei calastrelli di membrature composte calastrellate siano eseguite per le estremità per le estremità dei pannelli terminali tenendo in considerazione dalla forza di taglio nella membratura composta:

$$V_{Ed} = \pi\frac{M_{Ed}}{L} \tag{6.70}$$

## 6.4.2 Membrature tralicciate compresse

### 6.4.2.1 Resistenza dei componenti di membrature tralicciate compresse

(1) Si raccomanda che i correnti e i tralicci diagonali soggetti a compressione siano progettati per l'instabilità.

Nota I momenti secondari possono essere trascurati.

(2) Per i correnti si raccomanda che le verifiche di instabilità siano eseguite come segue:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0 \tag{6.71}$$

dove:

$N_{ch,Ed}$ è la forza di compressione di progetto agente nel corrente in corrispondenza della sezione di mezzeria della membratura composta secondo il punto 6.4.1(6); e

$N_{b,Rd}$ è il valore di progetto della resistenza per instabilità del corrente, prendendo la lunghezza di libera inflessione $L_{ch}$ come in figura 6.8.

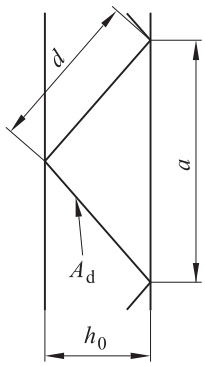
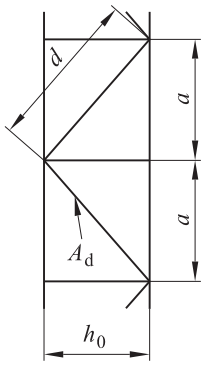
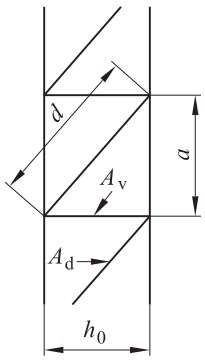
(3) Si raccomanda che la rigidezza tagliante $S_V$ dei tralicci sia ottenuta dalla figura 6.9.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(4) Il momento di inerzia efficace dell'area delle membrature composte tralicciate può essere assunto pari a:

$$I_{\text{eff}} = 0{,}5 h_0^2 A_{\text{ch}} \tag{6.72}$$

figura 6.9 **Rigidezza tagliante di tralicci di membrature composte**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sistema |   |   |   |
| $S_v$ | $\dfrac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$ | $\dfrac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$ | $\dfrac{nEA_d a h_0^2}{d^3\left[1+\dfrac{A_d h_0^3}{A_v d^3}\right]}$ |
| $n$ è il numero di piani di tralicciatura.<br>$A_d$ e $A_v$ si riferiscono all'area della sezione trasversale dei controventi. | | | |

6.4.2.2 Dettagli costruttivi

(1) In una membratura composta avente due piani paralleli di tralicciature, nel caso in cui sulle facce opposte vi sia una tralicciatura a singola diagonale, si raccomanda che tali tralicciature siano sistemi corrispondenti come mostrato in figura 6.10(a), ossia siano disposti in modo tale che uno sia nell'ombra dell'altro.

(2) In una membratura composta avente due piani paralleli di tralicciature, nel caso in cui sulle facce opposte vi sia una tralicciatura a singola diagonale, qualora tali tralicciature siano sistemi mutuamente opposti come mostrato in figura 6.10(b), si raccomanda di tenere in considerazione gli effetti torsionali nella membratura che derivano da tale configurazione.

(3) Si raccomanda che alle estremità dei sistemi di tralicciatura siano predisposti traversi di collegamento nei punti in cui la tralicciatura è interrotta e in corrispondenza dei collegamenti con le altre membrature.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 6.10 **Sistemi di tralicciatura a singola diagonale sulle facce opposte di una membratura composta avente due piani paralleli di tralicciature**

Legenda

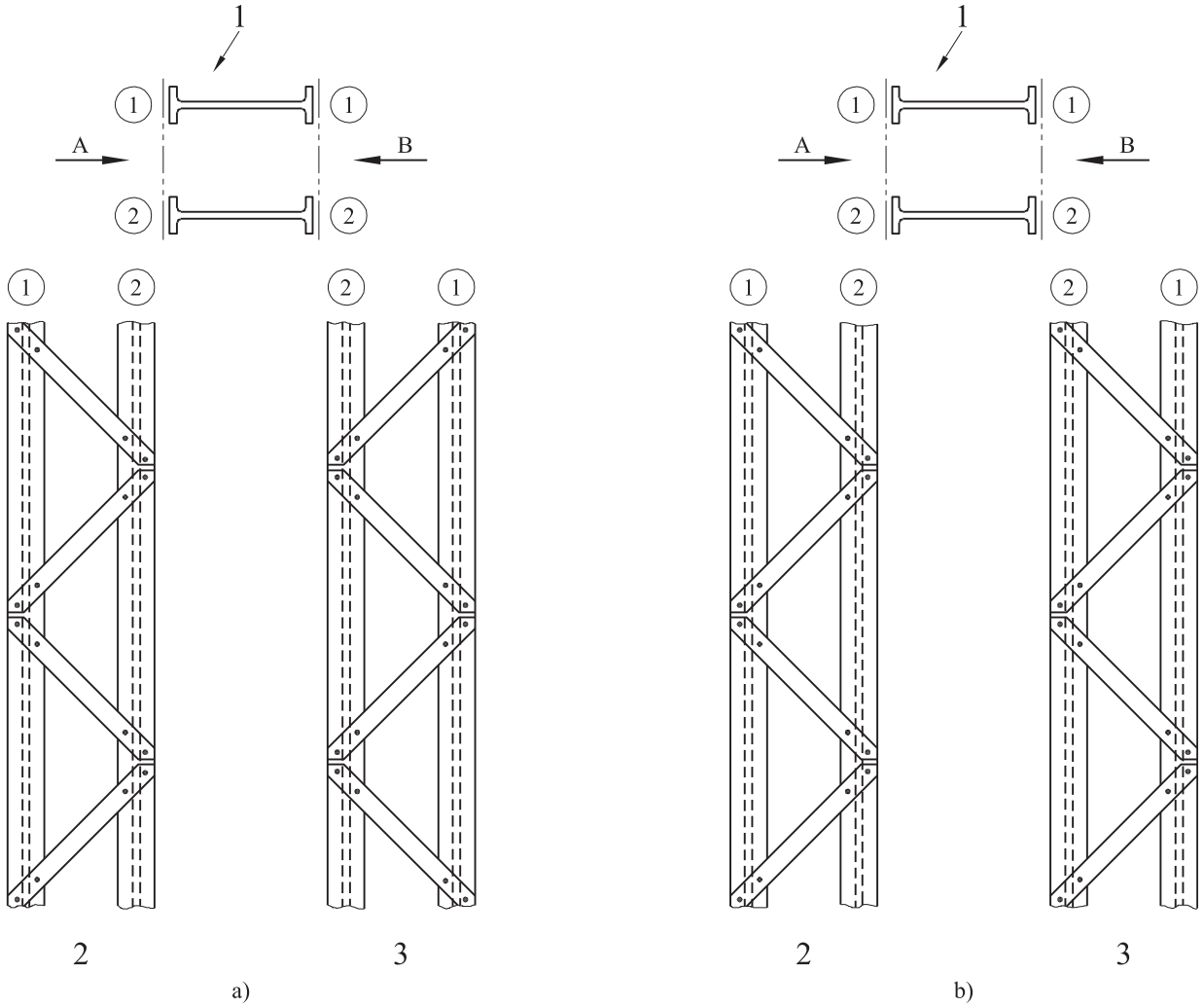
1 Corrente

2 Tralicciatura sulla faccia A

3 Tralicciatura sulla faccia B

a) Sistema di tralicciatura corrispondente (Sistema raccomandato)

b) Sistema di tralicciatura mutuamente opposto (Sistema non raccomandato)




## 6.4.3 Membrature calastrellate compresse

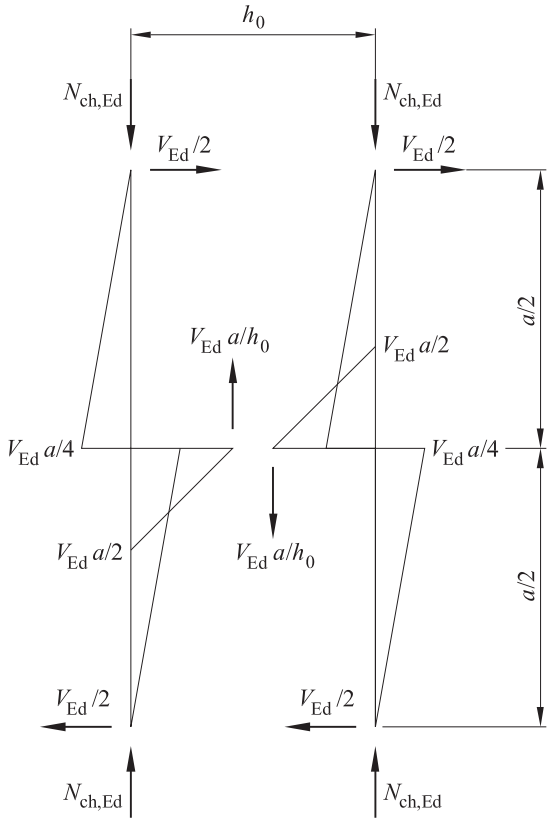
### 6.4.3.1 Resistenza dei componenti di membrature calastrellate compresse

(1) Si raccomanda che i correnti, i calastrelli e i loro collegamenti ai correnti siano verificati considerando i momenti effettivi e le forze effettive agenti nel pannello terminale e nella mezzeria, come indicato in figura 6.11.

Nota Per semplicità le massime forze nei correnti $N_{ch,Ed}$ possono essere combinate con la massima forza di taglio $V_{Ed}$.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura 6.11 **Momenti e forze in un pannello terminale di una membratura composta calastrellata**




(2) Si raccomanda che la rigidezza tagliante $S_V$ sia assunta pari a:

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2\left[1+\frac{2I_{ch}}{nI_b}\frac{h_0}{a}\right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} \tag{6.73}$$

(3) Il momento di inerzia efficace dell'area delle membrature composte calastrellate può essere assunto pari a:

$$I_{eff} = 0{,}5h_0^2A_{ch} + 2\mu I_{ch} \tag{6.74}$$

dove:

$I_{ch}$ momento d'inerzia nel piano della sezione di un corrente;

$I_b$ momento di inerzia nel piano di un calastrello;

$\mu$ coefficiente di efficienza ottenuto dal prospetto 6.8;

$n$ numero dei piani dei calastrelli.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto 6.8 **Coefficiente di efficienza $\mu$**

| Criterio | Coefficiente di efficienza $\mu$ |
|---|---|
| $\lambda \geq 150$ | 0 |
| $75 < \lambda < 150$ | $\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$ |
| $\lambda \leq 75$ | 1,0 |
| dove $\lambda = \frac{L}{i_0}$ ; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ ; $I_1 = 0{,}5 h_0^2 A_{ch} + 2 I_{ch}$ . | |

6.4.3.2 Dettagli costruttivi

(1) Si raccomanda che dei calastrelli siano disposti per ciascuna estremità della membratura.

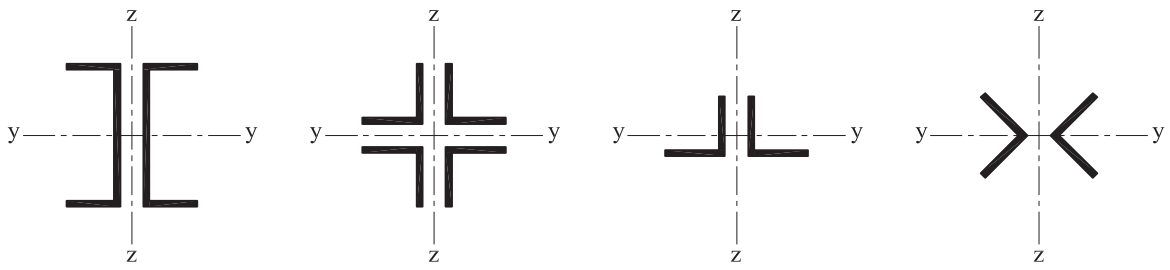
(2) Qualora si dispongano piani paralleli di calastrelli, si raccomanda che i calastrelli in ciascun piano siano posizionati in modo opposto a quelli dell'altro piano.

(3) Si raccomanda che dei calastrelli siano disposti anche nei punti intermedi dove sono applicati carichi o dove sono posizionati vincoli laterali.

## 6.4.4 Membrature composte da elementi ravvicinati

(1) Le membrature composte soggette a compressione aventi i correnti in contatto o posti a piccola distanza e collegati mediante piastre di imbottitura, vedere figura 6.12, o membrature in angolari calastrellati posti a croce e collegati mediante coppie di calastrelli disposti in due piani perpendicolari, vedere figura 6.13, nel caso in cui siano soddisfatte le condizioni riportate nel prospetto 6.9, si raccomanda che siano verificate per l'instabilità considerandole come una singola membratura trascurando l'effetto della rigidezza tagliante ($S_V = \infty$).

figura 6.12 **Membrature composte da elementi ravvicinati**




prospetto 6.9 **Massima distanza per i collegamenti in membrature composte da elementi ravvicinati o membrature in angolari calastrellati posti a croce**

| Tipo di membratura composta | Massima distanza dei collegamenti *) |
|---|---|
| Membrature secondo la figura 6.12 collegate da bulloni o saldature | 15 $i_{min}$ |
| Membrature secondo la figura 6.13 collegate da coppie di calastrelli | 70 $i_{min}$ |

*) Distanza tra gli interassi dei collegamenti.
$i_{min}$ è il minimo raggio di inerzia di un corrente o di un angolare.

(2) Si raccomanda che la forza di taglio trasmessa dai calastrelli sia determinata secondo il punto 6.4.3.1(1).

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

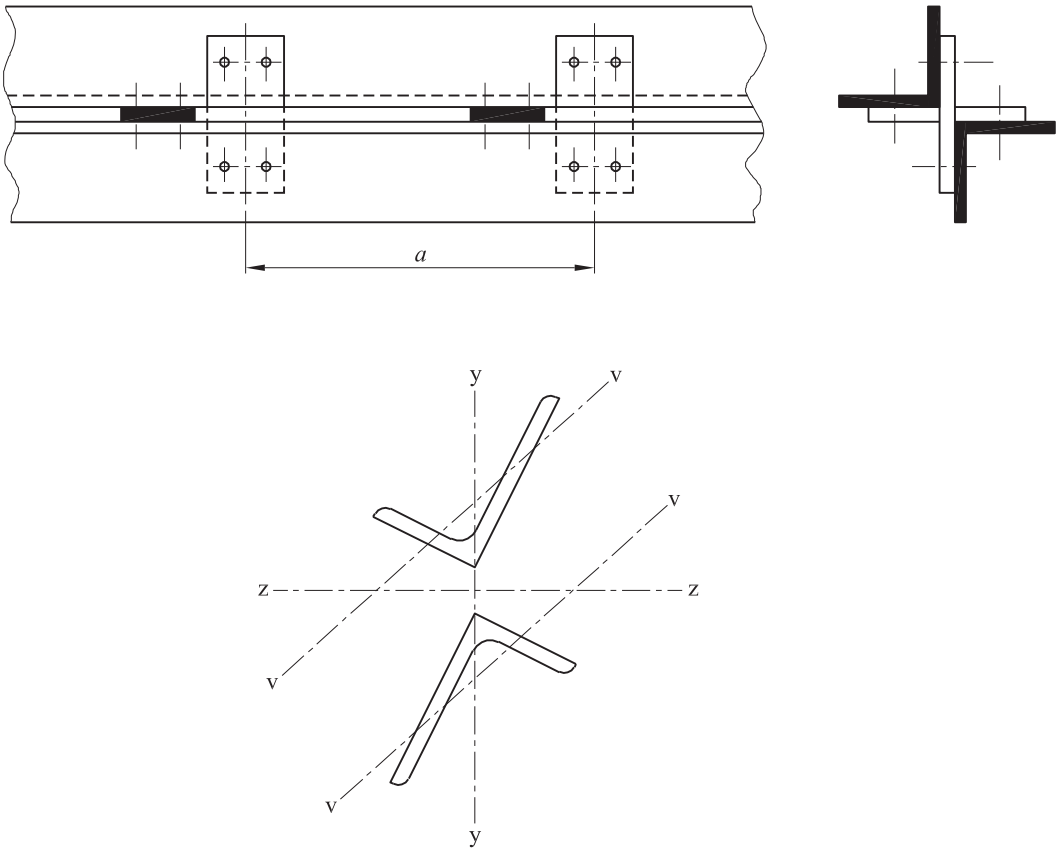
(3) Nel caso di angolari a lati disuguali, vedere figura 6.13, l'instabilità intorno all'asse y-y può essere verificata assumendo:

$$i_y = \frac{i_0}{1{,}15} \tag{6.75}$$

dove:

$i_0$ è il minimo raggio di inerzia della membratura composta.

figura 6.13 **Membrature in angolari calastrellati posti a croce**




## 7 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### 7.1 Generalità

(1) Si raccomanda che una struttura di acciaio sia progettata e costruita in modo tale che siano soddisfatti tutti gli stati limite di esercizio pertinenti.

(2) I requisiti fondamentali per gli stati limite di esercizio sono forniti nel punto 3.4 della EN 1990.

(3) Si raccomanda che in fase di progetto ogni stato limite di esercizio sia specificato insieme ai relativi modelli di carico e di analisi.

(4) Qualora per lo stato limite ultimo sia utilizzata l'analisi plastica globale, per lo stato limite di esercizio possono verificarsi ridistribuzioni plastiche di forze e momenti. Se ciò accade si raccomanda che ne siano considerati gli effetti.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## 7.2 Stati limite di esercizio per edifici

### 7.2.1 Spostamenti verticali

(1)B Con riferimento alla EN 1990, appendice A1.4, si raccomanda che i limiti per gli spostamenti verticali secondo la figura A1.1 siano specificati in fase di progetto in accordo con il committente.

Nota B L'appendice nazionale può specificare i limiti.

### 7.2.2 Spostamenti orizzontali

(1)B Con riferimento alla EN 1990, appendice A1.4, si raccomanda che i limiti per gli spostamenti orizzontali secondo la figura A1.2 siano specificati in fase di progetto in accordo con il committente.

Nota B L'appendice nazionale può specificare tali limiti.

### 7.2.3 Effetti dinamici

(1)B Con riferimento alla EN 1990, appendice A1.4.4, si raccomanda che le vibrazioni di strutture destinate al passaggio pubblico pedonale siano limitate in modo tale da evitare disagio agli utenti e che i limiti siano specificati in fase di progetto in accordo con il committente.

Nota B L'appendice nazionale può specificare limiti per la vibrazione di solai.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# APPENDICE A (informativa) METODO 1: COEFFICIENTI DI INTERAZIONE $k_{ij}$ PER LA FORMULA DI INTERAZIONE NEL PUNTO 6.3.3(4)

prospetto A.1 **Coefficienti di interazione $k_{ij}$** [6.3.3(4)]

| Coefficienti di interazione | Ipotesi di progetto | |
|---|---|---|
| | Proprietà elastiche delle sezioni trasversali classe 3, classe 4 | Proprietà plastiche delle sezioni trasversali classe 1, classe 2 |
| $k_{yy}$ | $C_{my} C_{mLT} \dfrac{\mu_y}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ | $C_{my} C_{mLT} \dfrac{\mu_y}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \dfrac{1}{C_{yy}}$ |
| $k_{yz}$ | $C_{mz} \dfrac{\mu_y}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ | $C_{mz} \dfrac{\mu_y}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \dfrac{1}{C_{yz}} 0{,}6 \sqrt{\dfrac{w_y}{w_z}}$ |
| $k_{zy}$ | $C_{my} C_{mLT} \dfrac{\mu_z}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ | $C_{mz} C_{mLT} \dfrac{\mu_z}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \dfrac{1}{C_{zy}} 0{,}6 \sqrt{\dfrac{w_y}{w_z}}$ |
| $k_{zz}$ | $C_{mz} \dfrac{\mu_z}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ | $C_{mz} \dfrac{\mu_z}{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \dfrac{1}{C_{zz}}$ |
| Termini ausiliari | | |
| $\mu_y = \dfrac{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$<br>$\mu_z = \dfrac{1 - \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$<br>$w_y = \dfrac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1{,}5$<br>$w_z = \dfrac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1{,}5$<br>$n_{pl} = \dfrac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}}$<br>$C_{my}$ vedere prospetto A.2<br>$a_{LT} = 1 - \left(\dfrac{I_T}{I_y} \geq 0\right)$ | $C_{yy} = 1 + (w_y - 1)\left[\left(2 - \dfrac{1{,}6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \dfrac{1{,}6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2\right) n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \dfrac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$<br>con $_{LT} = 0{,}5 a_{LT} \bar{\lambda}_0^2 \dfrac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \dfrac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,R}}$<br>$C_{yz} = 1 + (w_z - 1)\left[\left(2 - 14 \dfrac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0{,}6 \sqrt{\dfrac{w_z}{w_y}} \dfrac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$<br>con $c_{LT} = 10 a_{LT} \dfrac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$<br>$C_{zy} = 1 + (w_y - 1)\left[\left(2 - 14 \dfrac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0{,}6 \sqrt{\dfrac{w_y}{w_z}} \dfrac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$<br>con $d_{LT} = 2 a_{LT} \dfrac{\bar{\lambda}_0}{0{,}1 + \bar{\lambda}_z^4} \dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \dfrac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$<br>$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\left(2 - \dfrac{1{,}6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \dfrac{1{,}6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) n_{pl} \geq \dfrac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$<br>con $e_{LT} = 1{,}7 a_{LT} \dfrac{\bar{\lambda}_0}{0{,}1 + \bar{\lambda}_z^4} \dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$ | |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto A.1 **Coefficienti di interazione $k_{ij}$** [6.3.3(4)] (Continua)

$$\bar{\lambda}_{max} = \max\begin{cases}\bar{\lambda}_y \\ \bar{\lambda}_z\end{cases}$$

$\bar{\lambda}_0$ = snellezza adimensionale per instabilità flesso-torsionale dovuta a momento flettente costante, cioè $\psi_y = 1{,}0$ nel prospetto A.2

$\bar{\lambda}_{LT}$ = snellezza adimensionale per instabilità flesso-torsionale

se $\bar{\lambda}_0 \le 0{,}2\sqrt{C_1}\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$: $C_{my} = C_{my,0}$, $C_{mz} = C_{mz,0}$, $C_{mLT} = 1{,}0$

se $\bar{\lambda}_0 > 0{,}2\sqrt{C_1}\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$:

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0})\frac{\sqrt{\varepsilon_y}\,a_{LT}}{1+\sqrt{\varepsilon_y}\,a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2\frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \ge 1$$

$C_{mi,0}$ = vedere prospetto A.2

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\frac{A}{W_{el,y}}$ per sezioni trasversali di classe 1, 2 e 3

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\frac{A_{eff}}{W_{eff}}$ per sezioni trasversali di classe 4

$N_{cr,y}$ = carico critico elastico per instabilità flessionale intorno all'asse y-y

$N_{cr,z}$ = carico critico elastico per instabilità flessionale intorno all'asse z-z

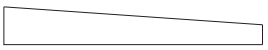
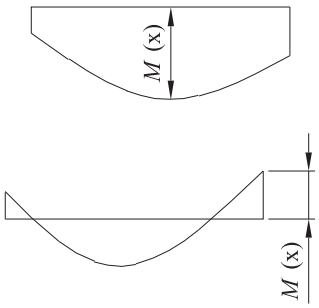
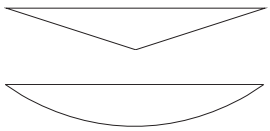
$N_{cr,T}$ = carico critico elastico per instabilità torsionale

$I_T$ = momento d'inerzia torsionale primario

$I_y$ = momento di inerzia intorno all'asse y-y

$C_1$ = coefficiente che dipende dalle condizioni di carico e dalle condizioni alle estremità e può essere preso pari a $C_1 = k_c^2$ dove $k_c$ si ricava dal prospetto 6.6.

prospetto A.2 **Coefficienti di momento costante equivalente $C_{mi,0}$**

| Diagramma del momento | $C_{mi,0}$ |
|---|---|
| $M_1$  $\psi M_1$<br>$-1 \le \psi \le 1$ | $C_{mi,0} = 0{,}79 + 0{,}21\,\psi_1 + 0{,}36(\psi_1 - 0{,}33)\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ |
|  | $C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 E I_i \lvert\delta_x\rvert}{L^2\lvert M_{i,Ed}(x)\rvert} - 1\right)\left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}\right)$<br>$M_{i,Ed}$ (x)è il massimo momento $M_{y,Ed}$ o $M_{z,Ed}$ secondo l'analisi del primo ordine<br>$\lvert\delta_x\rvert$ è la massima inflessione lungo la membratura |
|  | $C_{mi,0} = 1 - 0{,}18\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$<br>$C_{mi,0} = 1 + 0{,}03\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## APPENDICE B (informativa) METODO 2: COEFFICIENTI DI INTERAZIONE $k_{ij}$ PER LA FORMULA DI INTERAZIONE NEL PUNTO 6.3.3(4)

prospetto B.1 **Coefficienti di interazione $k_{ij}$ per membrature non soggette a deformazioni torsionali**

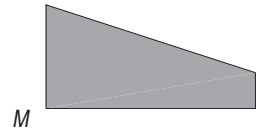
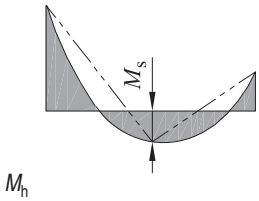
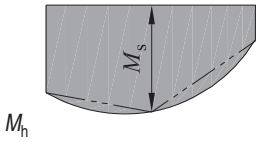
| Coefficienti di interazione | Tipi di sezioni | Ipotesi di progetto | |
|---|---|---|---|
| | | Proprietà elastiche delle sezioni trasversali classe 3, classe 4 | Proprietà plastiche delle sezioni trasversali classe 1, classe 2 |
| $k_{yy}$ | Sezioni a I<br>Sezioni tubolari rettangolari | $C_{my}\left(1+0{,}6\bar{\lambda}_y\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$<br>$\leq C_{my}\left(1+0{,}6\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$ | $C_{my}\left(1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$<br>$\leq C_{my}\left(1+0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$ |
| $k_{yz}$ | Sezioni a I<br>Sezioni tubolari rettangolari | $k_{zz}$ | $0{,}6\ k_{zz}$ |
| $k_{zy}$ | Sezioni a I<br>Sezioni tubolari rettangolari | $0{,}8\ k_{yy}$ | $0{,}6\ k_{yy}$ |
| $k_{zz}$ | Sezioni a I | $C_{mz}\left(1+0{,}6\bar{\lambda}_z\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$<br>$\leq C_{mz}\left(1+0{,}6\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$ | $C_{mz}\left(1+(2\bar{\lambda}_z-0{,}6)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$<br>$\leq C_{mz}\left(1+1{,}4\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$ |
| | Sezioni tubolari rettangolari | | $C_{mz}\left(1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$<br>$\leq C_{mz}\left(1+0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$ |
| Per sezioni a I e H e per sezioni tubolari rettangolari soggette a compressione assiale e momento flettente $M_{y,Ed}$ può assumersi $k_{zy} = 0$. | | | |

prospetto B.2 **Coefficienti di interazione $k_{ij}$ per membrature soggette a deformazioni torsionali**

| Coefficienti di interazione | Ipotesi di progetto | |
|---|---|---|
| | Proprietà elastiche delle sezioni trasversali classe 3, classe 4 | Proprietà plastiche delle sezioni trasversali classe 1, classe 2 |
| $k_{yy}$ | $k_{yy}$ dal prospetto B.1 | $k_{yy}$ dal prospetto B.1 |
| $k_{yz}$ | $k_{yz}$ dal prospetto B.1 | $k_{yz}$ dal prospetto B.1 |
| $k_{zy}$ | $\left[1-\frac{0{,}05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right]$<br>$\geq\left[1-\frac{0{,}05}{(C_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right]$ | $\left[1-\frac{0{,}1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right]$<br>$\geq\left[1-\frac{0{,}1}{(C_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right]$<br>per $\bar{\lambda}_z \leq 0{,}4$ :<br>$k_{zy} = 0{,}6+\bar{\lambda}_z \leq 1-\frac{0{,}1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}$ |
| $k_{zz}$ | $k_{zz}$ dal prospetto B.1 | $k_{zz}$ dal prospetto B.1 |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto B.3 **Coefficienti di momento costante equivalente $C_m$ nei prospetti B.1 e B.2**

| Diagramma del momento | Intervallo | | $C_{my}$ e $C_{mz}$ e $C_{mLT}$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | carico costante | carico variabile |
|   | $-1 \le \psi \le 1$ | | $0{,}6 + 0{,}4\ \psi \ge 0{,}4$ | |
|   $\alpha_s = M_s/M_h$ | $0 \le \alpha_s \le 1$ | $-1 \le \psi \le 1$ | $0{,}2 + 0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ | $0{,}2 + 0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ |
| | $-1 \le \alpha_s < 0$ | $0 \le \psi \le 1$ | $0{,}1 - 0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ | $-0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ |
| | | $-1 \le \psi < 0$ | $0{,}1(1 - \psi) - 0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ | $0{,}2\ (-\psi) - 0{,}8\ \alpha_s \ge 0{,}4$ |
|   $\alpha_s = M_s/M_h$ | $0 \le \alpha_h \le 1$ | $-1 \le \psi \le 1$ | $0{,}95 + 0{,}05\ \alpha_h$ | $0{,}90 + 0{,}10\ \alpha_h$ |
| | $-1 \le \alpha_h < 0$ | $0 \le \psi \le 1$ | $0{,}95 + 0{,}05\ \alpha_h$ | $0{,}90 + 0{,}10\ \alpha_h$ |
| | | $-1 \le \psi < 0$ | $0{,}95 + 0{,}05\ \alpha_h\ (1 + 2\ \psi)$ | $0{,}90 + 0{,}10\ \alpha_h\ (1 + 2\ \psi)$ |

Per membrature con modi instabili laterali si raccomanda che il coefficiente di momento costante equivalente sia assunto rispettivamente pari a: $C_{my}$= 0,9 o $C_{mz}$= 0,9.

Si raccomanda che $C_{my}$, $C_{mz}$ e $C_{mLT}$ siano ottenuti secondo il diagramma del momento flettente compreso tra i punti controventati pertinenti secondo quanto riportato di seguito:

| coefficiente di momento | asse di flessione | punti controventati in direzione |
|---|---|---|
| $C_{my}$ | y-y | z-z |
| $C_{mz}$ | z-z | y-y |
| $C_{mLT}$ | y-y | y-y |

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# APPENDICE AB (informativa) DISPOSIZIONI PROGETTUALI AGGIUNTIVE

## AB.1 Analisi strutturale tenendo in considerazione delle non linearità del materiale

(1)B Nel caso di non linearità del materiale gli effetti delle azioni su una struttura possono essere determinate mediante un approccio incrementale per i carichi di progetto da considerarsi per la situazione di progetto pertinente.

(2)B In tale approccio incrementale si raccomanda che ogni azione permanente o variabile sia incrementata proporzionalmente.

## AB.2 Disposizioni semplificate per la progettazione di travi di piano

(1)B Per travi continue con solette in edifici senza travi a sbalzo sulle quali agiscono prevalentemente carichi distribuiti uniformemente è sufficiente considerare solo le seguenti distribuzioni del carico:

a) campate caricate in alternanza rispettivamente dal carico di progetto permanente e variabile ($\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$) e dal solo carico di progetto permanente $\gamma_G G_k$;

b) due campate adiacenti caricate dal carico di progetto permanente e variabile ($\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$) e tutte le altre campate caricate dal solo carico di progetto permanente $\gamma_G G_k$.

Nota 1 a) si applica per i momenti che tendono le fibre inferiori, b) si applica per momenti che tendono le fibre superiori.

Nota 2 In una fase successiva si intende trasferire la presente appendice nella EN 1990.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

# APPENDICE BB (informativa) INSTABILITÀ DI COMPONENTI DI STRUTTURE DI EDIFICI

## BB.1 Instabilità flessionale di membrature appartenenti a strutture con maglie triangolari e a traliccio

### BB.1.1 Generalità

(1)B Generalmente per i correnti e per l'instabilità fuori dal piano di aste di parete, la lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ può essere assunta pari alla lunghezza di sistema $L$, vedere punto BB.1.3(1)B, a meno che un valore minore possa essere giustificato dall'analisi.

(2)B La lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ di un corrente avente sezione a I o a H può essere assunta pari a 0,9 $L$ per instabilità nel piano e pari a 1,0 $L$ per instabilità fuori dal piano, a meno che un valore minore sia giustificato dall'analisi.

(3)B Le aste di parete possono essere progettate per instabilità nel piano utilizzando una lunghezza di libera inflessione minore della lunghezza di sistema, a condizione che alle estremità i correnti assicurino appropriate condizioni di vincolo e i collegamenti limitino opportunamente gli spostamenti (almeno 2 bulloni se il collegamento è bullonato).

(4)B Sotto tali condizioni in una normale struttura a maglie triangolari la lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ di aste di parete per instabilità nel piano può essere assunta pari a 0,9 $L$, ad eccezione delle sezioni angolari, vedere punto BB.1.2.

### BB.1.2 Aste di parete aventi sezioni angolari

(1)B A condizione che alle estremità delle aste di parete aventi sezioni angolari i correnti assicurino appropriate condizioni di vincolo e i collegamenti di tali aste limitino opportunamente gli spostamenti (almeno 2 bulloni se il collegamento è bullonato), le eccentricità possono essere trascurate e le aste di parete possono essere considerate come elementi compressi. Il rapporto di snellezza efficace $\overline{\lambda}_{eff}$ può essere ottenuto dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \overline{\lambda}_{eff,v} &= 0{,}35 + 0{,}7\overline{\lambda}_v \text{ per instabilità intorno all'asse v-v} \\ \overline{\lambda}_{eff,y} &= 0{,}35 + 0{,}7\overline{\lambda}_y \text{ per instabilità intorno all'asse y-y} \\ \overline{\lambda}_{eff,z} &= 0{,}35 + 0{,}7\overline{\lambda}_z \text{ per instabilità intorno all'asse z-z} \end{aligned} \quad \text{(BB.1)}$$

dove:

$\overline{\lambda}$ è definito nel punto 6.3.1.2.

(2)B Qualora nei collegamenti di estremità delle aste di parete aventi sezioni angolari sia utilizzato un solo bullone si raccomanda di considerare l'eccentricità utilizzando il punto 6.2.9 e utilizzando la lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ pari alla lunghezza di sistema $L$.

### BB.1.3 Membrature aventi sezioni tubolari

(1)B La lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ di un corrente avente sezione tubolare può essere assunta pari a 0,9 $L$ per entrambe le instabilità nel piano e fuori dal piano, dove $L$ è la lunghezza di sistema per il piano pertinente. La lunghezza di sistema nel piano è pari alla distanza tra i collegamenti. La lunghezza di sistema fuori dal piano è pari alla distanza tra i vincoli laterali, a meno che un valore minore sia giustificato dall'analisi.

(2)B La lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ di una membratura di controventamento (asta di parete) avente sezione tubolare e collegamenti bullonati può essere assunta pari a 1,0 $L$ per entrambe le instabilità nel piano e fuori dal piano.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(3)B La lunghezza di libera inflessione $L_{cr}$ di una membratura di controventamento avente sezione tubolare senza spuntatura o spianatura, saldata intorno al suo perimetro alle sezioni tubolari dei correnti, può essere assunta generalmente pari a 0,75 $L$ per entrambe le instabilità nel piano e fuori dal piano. Si possono utilizzare lunghezze di libera inflessione minori basate su prove o calcoli. In tal caso la lunghezza di libera inflessione del corrente non può essere ridotta.

Nota B L'appendice nazionale può fornire maggiori informazioni sulla lunghezza libera di inflessione.

## BB.2 Vincoli continui

### BB.2.1 Vincoli continui laterali

(1)B Se una lamiera trapezoidale secondo la EN 1993-1-3 è collegata a una trave ed è soddisfatta la condizione espressa dalla formula (BB.2), la trave in corrispondenza di tale collegamento può essere considerata vincolata lateralmente nel piano della lamiera.

$$S \geq \left( EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0{,}25 h^2 \right) \frac{70}{h^2} \qquad \text{(BB.2)}$$

dove:

$S$ è la rigidezza tagliante (per unità di lunghezza della trave) fornita dalla lamiera alla trave nei riguardi della deformazione della trave nel piano della lamiera, nell'ipotesi in cui quest'ultima sia collegata alla trave alla sommità di ogni nervatura:

$I_w$ è la costante di ingobbamento;

$I_T$ è il momento di inerzia torsionale primario;

$I_z$ è il momento di inerzia della sezione trasversale intorno all'asse minore della sezione trasversale;

$L$ è la lunghezza della trave;

$h$ è l'altezza della trave.

Se la lamiera è collegata alla trave solo una nervatura su due, si raccomanda che $S$ sia sostituita da 0,20 $S$.

Nota La formula (BB.2) può essere anche utilizzata per valutare la stabilità laterale delle ali di travi utilizzate in combinazione con altri tipi di rivestimenti oltre alle lamiere trapezoidali, a condizione che i collegamenti siano opportunamente progettati.

### BB.2.2 Vincoli continui torsionali

(1)B Una trave può essere considerata vincolata sufficientemente contro la deformazione torsionale se:

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} K_\vartheta K_\upsilon \qquad \text{(BB.3)}$$

dove:

$C_{\vartheta,k}$ rigidezza rotazionale (per unità di lunghezza della trave) fornita alla trave dall'elemento stabilizzante continuo (per esempio struttura di copertura) e dai collegamenti;

$K_\upsilon$ 0,35 per analisi elastica;

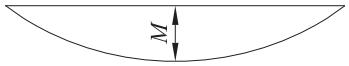
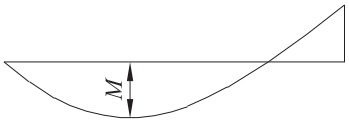
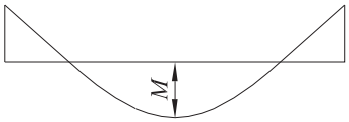
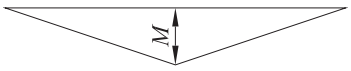
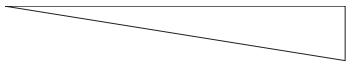
$K_\upsilon$ 1,00 per analisi plastica;

$K_\vartheta$ coefficiente che considera la distribuzione del momento vedere prospetto BB.1 e il tipo di vincolo;

$M_{pl,k}$ valore caratteristico del momento plastico della trave.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

prospetto BB.1 **Coefficiente $K_\vartheta$ che considera la distribuzione del momento e il tipo di vincolo**

| Caso | Distribuzione del momento | Senza vincolo traslazionale | Con vincolo traslazionale |
|---|---|---|---|
| 1 |   | 4,0 | 0 |
| 2a |   | 3,5 | 0,12 |
| 2b |   | | 0,23 |
| 3 |   | 2,8 | 0 |
| 4 |  | 1,6 | 1,0 |
| 5 | $\psi \leq -0{,}3$ | 1,0 | 0,7 |

(2)B La rigidezza torsionale fornita alla trave dall'elemento stabilizzante continuo può essere calcolata mediante:

$$\frac{1}{C_{\vartheta,k}} = \frac{1}{C_{\vartheta R,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta C,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta D,k}} \qquad \text{(BB.4)}$$

dove:

$C_{\vartheta R,k}$ rigidezza torsionale (per unità di lunghezza della trave) fornita alla trave dall'elemento stabilizzante continuo ipotizzando un collegamento rigido alla membratura;

$C_{\vartheta C,k}$ rigidezza torsionale (per unità di lunghezza della trave) del collegamento tra la trave e l'elemento stabilizzante continuo;

$C_{\vartheta D,k}$ rigidezza torsionale (per unità di lunghezza della trave) dedotta da un'analisi delle deformazioni distorsionali della sezione trasversale della trave, nel caso in cui l'ala compressa è quella libera; qualora l'ala compressa sia quella collegata o nel caso in cui le deformazioni distorsionali della sezione trasversale possono essere trascurate (per esempio per i comuni profilati laminati) $C_{\vartheta D,k} = \infty$.

Nota Per maggiori informazioni vedere la EN 1993-1-3.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## BB.3 Lunghezze stabili di tratti di membratura contenenti cerniere plastiche per instabilità fuori dal piano

### BB.3.1 Membrature uniformi costituite da sezioni laminate o da sezioni a I saldate equivalenti

#### BB.3.1.1 Lunghezze stabili tra vincoli laterali adiacenti

(1)B Gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale laterale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ del tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo laterale adiacente sia non maggiore di $L_m$, dove:

$$L_m = \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57{,}4}\left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756\,C_1^2}\left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_T}\right)\left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \qquad \text{(BB.5)}$$

dove:

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione nella membratura [N];

$A$ è l'area della sezione trasversale della membratura [mm$^2$];

$W_{pl,y}$ è il modulo plastico della sezione della membratura;

$I_T$ è il momento di inerzia torsionale primario della membratura;

$f_y$ è la resistenza di snervamento [N/mm$^2$];

$C_1$ è un coefficiente che dipende dalle condizioni di carico e dalle condizioni alle estremità e può essere preso pari a $C_1 = k_c^{-2}$, dove $k_c$ si ricava dal prospetto 6.6.

a condizione che la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto dal punto 6.3.5 e che l'altra estremità del tratto di membratura sia vincolata secondo una delle seguenti alternative:

- da un vincolo laterale in corrispondenza dell'ala compressa, qualora un'ala sia compressa lungo tutto il tratto;
- da un vincolo torsionale;
- da un vincolo laterale all'estremità del tratto e da un vincolo torsionale posto in corrispondenza della membratura a una distanza che soddisfi i requisiti per $L_s$,

vedere figura BB.1, figura BB.2 e figura BB3.

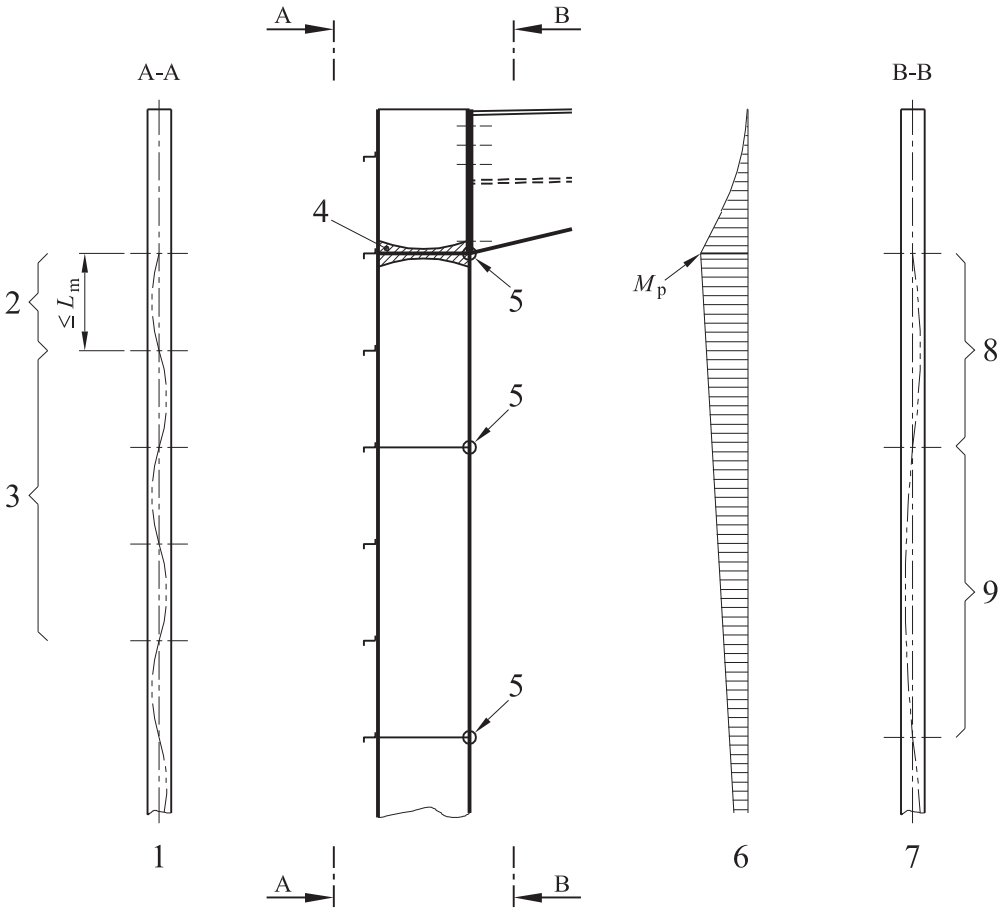
Nota Generalmente $L_s$ è maggiore di $L_m$.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.1 **Verifiche in una membratura senza rinforzi**

Legenda

1 Ala tesa
2 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.1.1)
3 Sezione elastica (vedere punto 6.3)
4 Cerniera plastica
5 Vincoli
6 Diagramma del momento flettente
7 Ala compressa
8 Plastica con vincolo in corrispondenza dell'ala tesa, lunghezza stabile = $L_s$ [vedere punto BB.3.1.2, equazione (BB.7) o (BB.8)]
9 Elastica con vincolo in corrispondenza dell'ala tesa (vedere punto 6.3), $\chi$ e $\chi_{LT}$ ricavati da $N_{cr}$ e $M_{cr}$ includendo il vincolo dell'ala tesa

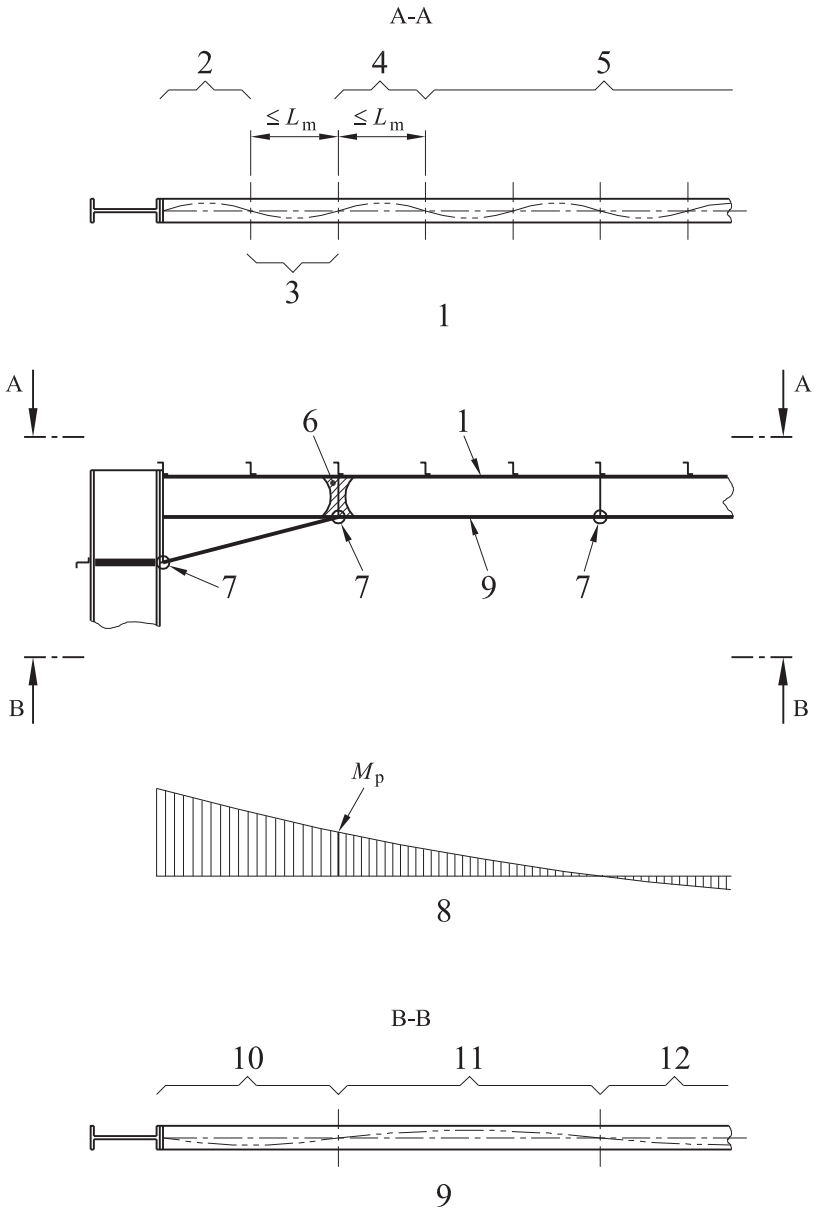


Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.2 **Verifiche in una membratura con tre piattabande di rinforzo**

Legenda

1 Ala tesa
2 Sezione elastica (vedere punto 6.3)
3 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.2.1) o elastica [vedere punto 6.3.5.3(2)B]
4 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.1.1)
5 Sezione elastica (vedere punto 6.3)
6 Cerniera plastica
7 Vincoli
8 Diagramma del momento flettente
9 Ala compressa
10 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.2) o elastica [vedere punto 6.3.5.3(2)B]
11 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.1.2)
12 Sezione elastica (vedere punto 6.3), $\chi$ e $\chi_{LT}$ ricavati da $N_{cr}$ e $M_{cr}$ includendo il vincolo dell'ala tesa

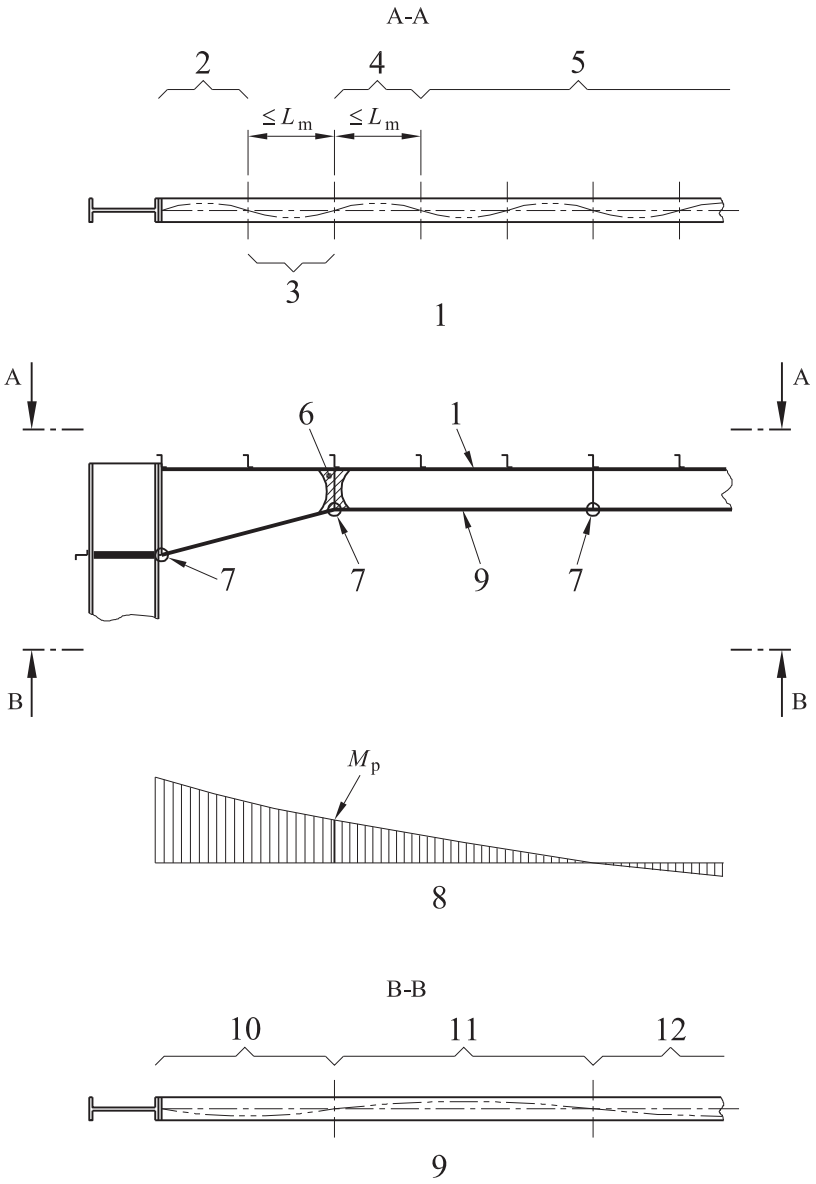


Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.3 **Verifiche in una membratura con due piattabande di rinforzo**

Legenda

1 Ala tesa
2 Sezione elastica (vedere punto 6.3)
3 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.2.1)
4 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.1.1)
5 Sezione elastica (vedere punto 6.3)
6 Cerniera plastica
7 Vincoli
8 Diagramma del momento flettente
9 Ala compressa
10 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.2)
11 Lunghezza plastica stabile (vedere punto BB.3.1.2)
12 Sezione elastica (vedere punto 6.3), $\chi$ e $\chi_{LT}$ ricavati da $N_{cr}$ e $M_{cr}$ includendo il vincolo dell'ala tesa



Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

**BB.3.1.2** **Lunghezza stabile tra vincoli torsionali**

(1)B Gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ del tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo torsionale adiacente soggetto a un momento costante sia non maggiore di $L_k$, a condizione che:

- la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto nel punto 6.3.5, e
- tra i vincoli torsionali ci siano uno o più vincoli laterali intermedi aventi un interasse che soddisfa i requisiti per $L_m$, vedere punto BB.3.1.1,

dove:

$$L_k = \frac{\left(5{,}4 + \frac{600 f_y}{E}\right)\left(\frac{h}{t_f}\right) i_z}{\sqrt{5{,}4\left(\frac{f_y}{E}\right)\left(\frac{h}{t_f}\right)^2 - 1}} \qquad \text{(BB.6)}$$

(2)B Gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ del tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo torsionale adiacente soggetto a un momento variabile linearmente e a una compressione assiale sia non maggiore di $L_s$, a condizione che:

- la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto nel punto 6.3.5, e
- tra i vincoli torsionali ci siano uno o più vincoli laterali intermedi aventi un interasse che soddisfa i requisiti per $L_m$, vedere punto BB.3.1.1,

dove:

$$L_s = \sqrt{C_m} L_k \left(\frac{M_{pl,y,Rk}}{M_{N,y,Rk} + a N_{Ed}}\right) \qquad \text{(BB.7)}$$

$C_m$ è il coefficiente di modifica per il momento con variazione lineare, vedere punto BB.3.3.1;

$a$ è la distanza tra il baricentro della membratura nella quale si forma la cerniera plastica e il baricentro delle membrature vincolanti;

$M_{pl,y,Rk}$ è il momento resistente plastico caratteristico della sezione trasversale intorno all'asse y-y;

$M_{N,y,Rk}$ è il momento resistente plastico caratteristico della sezione trasversale intorno all'asse y-y ridotto per la presenza della forza assiale $N_{Ed}$.

(3)B Gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ di un tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo torsionale adiacente soggetto a un momento variabile non linearmente e a una compressione assiale sia non maggiore di $L_s$, a condizione che:

- la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto nel punto 6.3.5, e
- tra i vincoli torsionali ci siano uno o più vincoli laterali intermedi aventi un interasse che soddisfa i requisiti per $L_m$, vedere punto BB.3.1.1,

dove:

$$L_s = \sqrt{C_n} L_k \qquad \text{(BB.8)}$$

$C_n$ è il coefficiente di modifica per il momento con variazione non lineare, vedere punto BB.3.3.2;

vedere figura BB.1, figura BB.2 e figura BB.3.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

## BB.3.2 Membrature rinforzate o rastremate costituite da sezioni laminate o sezioni a I saldate equivalenti

### BB.3.2.1 Lunghezze stabili tra vincoli laterali adiacenti

(1)B Gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ del tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo laterale adiacente sia non maggiore di $L_m$,
dove:

- per tre piattabande di rinforzo (vedere figura BB.2)

$$L_m = \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57{,}4}\left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756 C_1^2}\left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_T}\right)\left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \qquad \text{(BB.9)}$$

- per due piattabande di rinforzo (vedere figure BB.3)

$$L_m = 0{,}85 \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57{,}4}\left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756 C_1^2}\left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_T}\right)\left(\frac{f_y}{235}\right)^2}} \qquad \text{(BB.10)}$$

dove:

$N_{Ed}$ è il valore di progetto della forza di compressione nella membratura [N];

$\frac{W_{pl,y}^2}{A I_T}$ è il massimo valore nel tratto di membratura;

$A$ è l'area della sezione trasversale [mm$^2$] in corrispondenza dove $\frac{W_{pl,y}^2}{A I_T}$ è massimo in una membratura rastremata;

$C_1$ è un coefficiente che dipende dalle condizioni di carico e dalle condizioni alle estremità e può essere preso pari a $C_1 = k_c^{-2}$, dove $k_c$ si ricava dal prospetto 6.6;

$W_{pl,y}$ è il modulo plastico della sezione della membratura;

$I_T$ è il momento di inerzia torsionale primario della membratura;

$f_y$ è la resistenza di snervamento [N/mm$^2$];

$i_z$ e il minimo valore del raggio di inerzia nel tratto di membratura,

a condizione che la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto nel punto 6.3.5 e che l'altra estremità del tratto di membratura sia vincolata secondo una delle seguenti alternative:

- da un vincolo laterale in corrispondenza dell'ala compressa qualora l'ala sia compressa lungo tutto il tratto;
- da un vincolo torsionale;
- da un vincolo laterale posto all'estremità del tratto e un vincolo torsionale posto in corrispondenza della membratura a una distanza che soddisfa i requisiti per $L_s$.

### BB.3.2.2 Lunghezza stabile tra vincoli torsionali

(1)B Per membrature non uniformi con ali costanti soggette a un momento con variazione lineare o non lineare e a una compressione assiale, gli effetti dell'instabilità flesso-torsionale possono essere trascurati qualora la lunghezza $L$ del tratto di membratura compreso tra la sezione vincolata in corrispondenza di una cerniera plastica e il vincolo torsionale adiacente sia non maggiore di $L_s$, a condizione che:

- la membratura sia vincolata in corrispondenza della cerniera come richiesto nel punto 6.3.5, e

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

- tra i vincoli torsionali ci siano uno o più vincoli laterali intermedi aventi un interasse che soddisfa i requisiti per $L_m$, vedere punto BB.3.2.1,

  dove:

  - per tre piattabande di rinforzo (vedere figura BB.2)

$$L_s = \frac{\sqrt{C_n} L_k}{c} \tag{BB.11}$$

  - per due piattabande di rinforzo (vedere figura BB.3)

$$L_s = 0{,}85 \frac{\sqrt{C_n} L_k}{c} \tag{BB.12}$$

  dove:

  $L_k$ è la lunghezza ottenuta per una membratura uniforme con una sezione trasversale pari a quella minima, vedere punto BB.3.1.2;

  $C_n$ vedere punto BB.3.3.2;

  $c$ è il coefficiente di rastremazione definito nel punto BB.3.3.3.

## BB.3.3 Coefficienti modificatori per momenti variabili in membrature vincolate lateralmente lungo l'ala tesa

### BB.3.3.1 Momenti con variazione lineare

(1)B Il coefficiente modificatore $C_m$ può essere determinato dalla seguente relazione:

$$C_m = \frac{1}{B_0 + B_1 \beta_t + B_2 \beta_t^2} \tag{BB.13}$$

in cui:

$$B_0 = \frac{1 + 10\eta}{1 + 20\eta}$$

$$B_1 = \frac{5\sqrt{\eta}}{\pi + 10\sqrt{\eta}}$$

$$B_2 = \frac{0{,}5}{1 + \pi\sqrt{\eta}} - \frac{0{,}5}{1 + 20\eta}$$

$$\eta = \frac{N_{crE}}{N_{crT}}$$

$$N_{crE} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_t^2}$$

$L_t$ è la distanza tra i vincoli torsionali;

$$N_{crT} = \frac{1}{i_s^2} = \left( \frac{\pi^2 (E I_z a^2)}{L_t^2} + \frac{\pi^2 E I_w}{L_t^2} + G I_T \right)$$

è il carico critico elastico per instabilità torsionale per una profilato a I avente entrambe le ali vincolate con vincoli posti a un interasse $L_t$ e vincoli laterali intermedi sulla flangia tesa.

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2$$

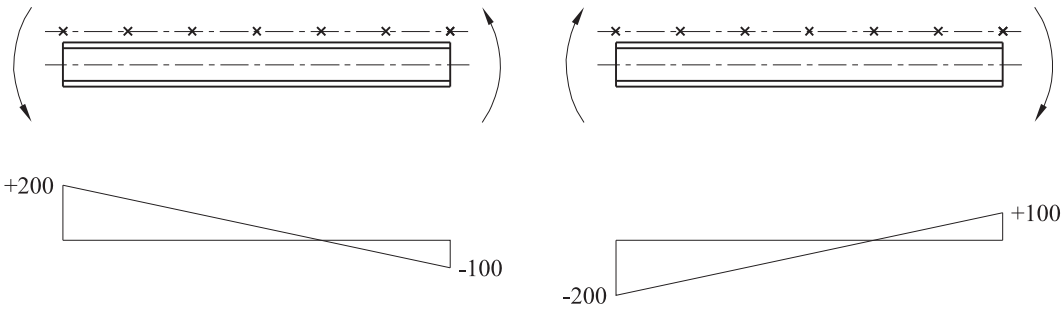
dove:

$a$ è la distanza tra il baricentro della membratura e il baricentro delle membrature vincolanti, come arcarecci che vincolano traversi;

$\beta_t$ è il rapporto tra l'algebricamente minimo e massimo momento di estremità. Si raccomanda che i momenti che producono compressione nell'ala non vincolata siano considerati positivi. Se il rapporto è minore di −1,0 si raccomanda che il valore di $\beta_t$ sia assunto pari a −1,0, vedere figura BB.4.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.4 **Valore di $\beta_t$**




$$\beta_t = \frac{-100}{+200} = -0,5 \qquad \beta_t = \frac{-200}{+100} = -2$$

con la limitazione $\beta_t \leq -1,0$ quindi $\beta_t = -1,0$

## BB.3.3.2 Momenti con variazione non lineare

(1)B Il coefficiente modificatore $C_n$ può essere determinato dalla seguente relazione:

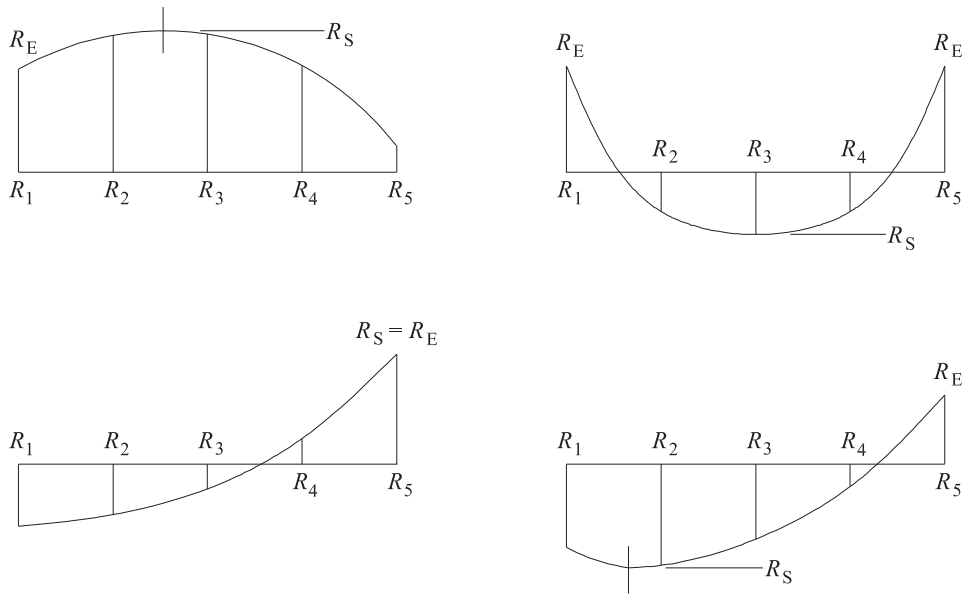
$$C_n = \frac{12}{[R_1 + 3R_2 + 4R_3 + 3R_4 + R_5 + 2(R_S - R_E)]} \qquad \text{(BB.14)}$$

in cui i simboli da $R_1$ a $R_5$ sono valori di $R$ valutati secondo il punto (2)B nelle sezioni di estremità, nella sezione di mezzeria e nelle sezioni poste a una distanza dalle estremità pari a un quarto della luce, vedere figura BB.5, e dove si raccomanda che siano inclusi solo i valori positivi di $R$.

In aggiunta, si raccomanda che siano inclusi solo i valori positivi di ($R_S - R_E$), dove:

- $R_E$ è il valore maggiore tra $R_1$ e $R_5$;
- $R_S$ è il valore maggiore di $R$ in qualunque punto lungo la lunghezza $L_y$.

figura BB.5 **Valori dei momenti**



Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

(2)B Si raccomanda che il valore di $R$ sia ottenuto mediante la seguente relazione:

$$R = \frac{M_{y,Ed} + aN_{Ed}}{f_y W_{pl,y}} \qquad \text{(BB.15)}$$

dove:

$a$ è la distanza tra il baricentro della membratura e il baricentro delle membrature vincolanti, come arcarecci che vincolano traversi.

### BB.3.3.3 Coefficiente di rastremazione

(1)B Per una membratura non uniforme con ali costanti per cui $h \geq 1{,}2\ b$ e $h/t_f \geq 20$, si raccomanda che il coefficiente di rastremazione $c$ sia ottenuto come segue:

- per membrature rastremate o tratti di membratura rastremati, vedere figura BB.6(a):

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)}\left(\frac{h_{max}}{h_{min}} - 1\right)^{2/3} \qquad \text{(BB.16)}$$

- per membrature rinforzate o tratti di membratura rinforzati, vedere figure BB.6(b) e BB.6(c):

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)}\left(\frac{h_h}{h_s} - 1\right)^{2/3}\sqrt{\frac{L_h}{L_y}} \qquad \text{(BB.17)}$$

dove:

$h_h$ è l'altezza aggiuntiva del rinforzo o della rastremazione, vedere figura BB.6;

$h_{max}$ è la massima altezza della sezione trasversale considerando la distanza $L_y$, vedere figura BB.6;

$h_{min}$ è la minima altezza della sezione trasversale considerando la distanza $L_y$, vedere figura BB.6;

$h_s$ è la proiezione verticale dell'altezza della sezione non rinforzata, vedere figura BB.6;

$L_h$ è la lunghezza del rinforzo considerando la distanza $L_y$, vedere figura BB.6;

$L_y$ è la distanza tra i punti in cui l'ala compressa è vincolata lateralmente.

($h/t_f$) deve essere ottenuto nella sezione avente la maggiore rastremazione.

Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

figura BB.6 **Dimensioni definenti il coefficiente di rastremazione**

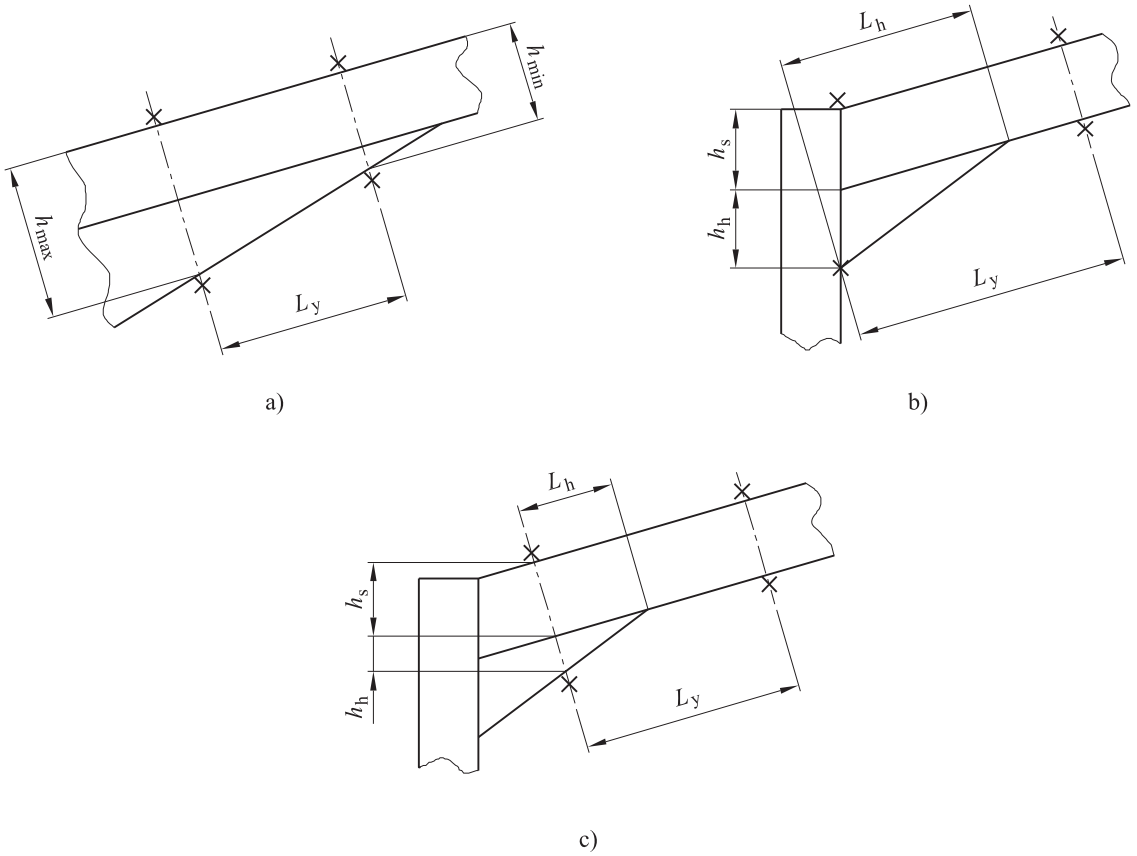
Legenda

a) Tratto rastremato

b) Tratto rinforzato

c) Tratto rinforzato

× Vincolo



Documento contenuto nel prodotto EUROCODICI edizione 2011. E' vietato l'uso in rete del singolo documento e la sua riproduzione. E' autorizzata la stampa per uso interno.

**UNI**
**Ente Nazionale Italiano di Unificazione**
Via Sannio, 2
20137 Milano, Italia

Riproduzione vietata - Legge 22 aprile 1941 Nº 633 e successivi aggiornamenti.