



JACK PORTEOUS, PETER ROSS

Traduzione di **GIORGIO NIERI**

Guida all'Eurocodice 5

Progettazione di edifici in legno: EN 1995-1-1



Prefazione del Curatore della Collana

Gli Eurocodici Strutturali sono un insieme di Norme Europee (EN) per il progetto di edifici ed altre costruzioni di ingegneria civile e prodotti da costruzione, prodotto dal Comitato Europeo di Normazione (CEN). Essi includono le esperienze Nazionali ed il risultato della ricerca proveniente dall'intera Europa, insieme con la competenza degli esperti che li hanno sviluppati. Essi sono riconosciuti come l'insieme più tecnicamente avanzato di norme di ingegneria civile e strutturale a livello mondiale.

Gli Eurocodici coprono in modo completo tutti i principali materiali da costruzione (calcestruzzo, acciaio, legno, muratura e alluminio), tutti i principali campi della ingegneria strutturale (criteri generali della progettazione strutturale, azioni, fuoco, geotecnica, sismica, ecc.) ed una vasta gamma di tipologie strutturali e di prodotto (edifici, ponti, torri e tralicci, silos, ecc). La pubblicazione delle parti degli Eurocodici è ora completa.

Lo scopo della Commissione Europea per lo sviluppo degli Eurocodici è che *“gli Eurocodici stabiliscano un insieme di regole tecniche comuni per il progetto di edifici e costruzioni di ingegneria civile che sostituiscano le differenti regole nei vari Stati Membri”*.

È importante che i progettisti nella industria delle costruzioni siano pronti ad usarli. Per chi entra nella professione come laureato, il progetto con gli Eurocodici sarà la norma ed i datori di lavoro richiederanno che i loro nuovi assunti capiscano i più recenti approcci degli Eurocodici.

La collana *Designers' Guides to Eurocodes* della Thomas Telford è stata prodotta al fine di aiutare in questo processo e per promuovere e facilitare l'applicazione degli Eurocodici.

Questa collana dà una guida completa in forma di aiuti al progetto, indicazione delle procedure di progetto più adatte, ed esempi risolti. I libri includono anche approfondimenti per aiutare il progettista nella comprensione dei ragionamenti che stanno dietro l'oggetto delle norme. Tutte le guide individuali sono da usare congiuntamente con la *Guida all'Eurocodice - Principi generali di progettazione Strutturale: EN 1990*.

I testi forniscono una guida di buona qualità ed informazioni di approfondimento sugli Eurocodici. Esse sono in particolare dirette a queste categorie di utilizzatori o d'uso:

- I professionisti ingegneri strutturisti/civili coinvolti nel progetto e nella costruzione di edifici e ponti.
- Il normatore.
- Il validatore ed il cliente o il suo rappresentante.

- Il produttore di prodotti da costruzione, dato che la Direttiva Europea sui Prodotti da Costruzione richiede l'uso degli Eurocodici.
- Per l'educazione universitaria, l'educazione *post lauream* e l'educazione permanente per il professionista.

Io vi raccomando queste guide.

Prof. Haig Gulvanessian CBE

Londra, Agosto 2010

Prefazione del Curatore della versione italiana della Collana

La pubblicazione in italiano della collana *Designers' Guides to Eurocodes*, curata originariamente in lingua inglese dal Prof. Haig Gulvanessian per l'editore londinese Thomas Telford, braccio editoriale dell'ICE, *Institution of Civil Engineers*, è una occasione di aggiornamento culturale e professionale importantissima per varie ragioni, non solo legate alla grandissima autorevolezza degli Autori dei testi della collana stessa, molti dei quali direttamente coinvolti nella stesura degli Eurocodici, e quindi ben addentro alle singole ragioni che hanno portato a certe scelte e non altre.

In primo luogo le nostre ultime travagliate normative nazionali si sono ampiamente ispirate agli Eurocodici, tanto da costituirne in molti casi una copia (fedele o infedele, bella o brutta a seconda dei casi). Quindi in molti casi le domande che non trovano risposta nel testo delle NTC 2008 (e norme precedenti), trovano invece spesso più chiara risposta proprio nel testo degli Eurocodici. Dunque una serie di testi di estesa spiegazione degli Eurocodici è anche, indirettamente ma sostanzialmente, una estesa spiegazione delle attuali norme nazionali.

In secondo luogo, benché esistano in Italia testi che trattano anche degli Eurocodici, un po' a sorpresa non esiste ancora in Italia una collana veramente completa e coerente che tratti specificamente pressoché *tutti* gli Eurocodici (dallo 0 al 9) in modo organico ed esteso. Alcuni degli argomenti coperti dai testi che pubblicheremo non risulta siano mai stati oggetto di pubblicazioni specifiche in Italia. C'è dunque sicuramente bisogno di testi, di spiegazioni, di punti di vista differenti, e questa collana darà un contributo sostanziale, diretto a tutti coloro che hanno bisogno di informarsi sugli Eurocodici e sul senso delle norme di recente emissione.

In terzo luogo, senza voler essere esterofili per forza, la possibilità di leggere come affrontino certi problemi autorevoli esperti di Scuole molto diverse dalla nostra (e provenienti da tutta Europa) non può che essere un vero, grande arricchimento. La circolazione delle idee, anche magari differenti, non può che far bene e indurre, magari, a qualche utile riflessione. Certamente non potrà che giovare a tutti noi, esperti italiani, confrontarci con i metodi di calcolo, le idee, le considerazioni e riflessioni, le logiche e le pratiche tecniche e formali seguite negli altri Paesi europei, anche perché come detto la nostra stessa norma deriva in gran parte dagli Eurocodici.

La collana è stata tradotta da esperti Colleghi strutturisti che hanno spesso integrato il testo con note esplicative tese a chiarire il rapporto con le NTC 2008 e gli Allegati Nazionali italiani disponibili. In presenza di dubbi di interpretazione, in verità rari, sono direttamente stati sentiti gli Autori, con uno scambio proficuo di informazioni.

Confido dunque che i Colleghi italiani comprenderanno l'importanza di questa iniziativa e mi auguro che la troveranno molto utile, come è parsa a chi ha avuto l'idea di proporla in Italia.

Paolo Rugarli

Milano, Agosto 2010

AUTORE

Jack Porteous

È ingegnere civile strutturista ed opera come consulente specializzato nell'analisi delle strutture in legno. È visiting scholar e lecturer in analisi e progettazione delle strutture in legno presso la Edinburgh Napier University ed è autore di diverse pubblicazioni tecniche riguardanti gli argomenti trattati nella EN 1995-1-1. Insegna l'ingegneria applicata alle strutture in legno agli studenti universitari ed agli specializzandi del master che tratta dell'Eurocodice 5; si occupa anche della supervisione dell'attività di ricerca presso la medesima Università. È membro del gruppo consultivo editoriale degli atti dell'ICE, materiali per la costruzione, ed è membro del comitato del BSI che si occupa di fornire consulenza sull'impiego del legno strutturale nel Regno Unito. Tramite il comitato del BSI ha contribuito alla produzione delle informazioni complementari non contraddittorie ed alla partecipazione da parte del Regno Unito alla stesura dell'Eurocodice 5.

Peter Ross

Ex Direttore Associato presso la Ove Arup e ora Consulente della stessa Azienda, vanta ben cinquant'anni di esperienza ed è stato progettista responsabile di innumerevoli costruzioni di nuova realizzazione e di altrettanti ripristini, tutti relativi ad opere in legno.

Attualmente è presidente del TRADA ed è stato per vari anni membro del Comitato del BSI in carica per le normative strutturali concernenti l'impiego del legno strutturale nel Regno Unito. Egli è stato anche Segretario Tecnico dell'edizione dell'Eurocodice 5.

TRADUTTORE

Giorgio Nieri

Ingegnere strutturista in Milano.

Indice

Prefazione del Curatore della Collana.....	III
Prefazione del Curatore della versione italiana della Collana	V
Premessa.....	1
Generalità.....	1
Struttura di questa guida	2
Ringraziamenti.....	2
Introduzione.....	3
Background al programma degli Eurocodici	3
Stato e campo di applicazione degli Eurocodici.....	3
Norme Nazionali che adottino gli Eurocodici	4
Collegamenti tra gli Eurocodici e le specifiche tecniche di prodotto armonizzate (EN ed ETA)	4
Informazioni aggiuntive specifiche per la EN 1995-1-1	4
Appendici Nazionali alla EN 1995-1-1	5
Informazioni complementari non contraddittorie	6
Capitolo 1 Generalità.....	7
1.1 Scopo.....	7
1.2 Riferimenti Normativi	8
1.3 Ipotesi.....	8
1.4 Distinzione tra principi e regole applicative	8
1.5 Termini e definizioni.....	9
1.6 Simboli	9
1.7 Convenzioni per gli assi degli elementi.....	9
Riferimenti	10
Capitolo 2 Basi del progetto.....	11
2.1 Requisiti	11
2.2 Principi di progettazione agli stati limite.....	12

2.2.1	Generalità	13
2.2.2	Stati limite ultimi	13
2.2.3	Stati limite di servizio	13
2.3	Variabili di base	14
	Generalità	14
2.3.1	Azioni ed influenze dovute alle condizioni ambientali	15
2.3.1.1	Generalità.....	15
2.3.1.2	Classi di durata dei carichi.....	19
2.3.1.3	Classi di servizio	19
2.3.2	Materiali e proprietà dei prodotti	20
2.3.2.1	Influenza della durata dei carichi e dell'umidità sulla resistenza	20
2.3.2.2	Durata dei carichi e influenza dell'umidità sulle deformazioni.....	21
2.4	Verifica con il metodo ai fattori parziali.....	22
2.4.1	Valori di progetto delle proprietà dei materiali	23
2.4.2	Valori di progetto delle proprietà geometriche	24
2.4.3	Resistenze di progetto	24
	Riferimenti	24
Capitolo 3	Materiali	25
3.1	Generalità	25
3.2	Legno massiccio	26
3.3	Legno laminato incollato	29
3.4	Legno laminato impiallacciato (LVL).....	30
3.5	Pannelli a base di legno	31
3.6	Adesivi	32
3.7	Collegamenti metallici.....	33
3.7.1	Chiodi	33
3.7.2	Viti	33
3.7.3	Perni	34
3.7.4	Bulloni	34
3.7.5	Collegamenti con piastre metalliche perforate	34
	Riferimenti	35
Capitolo 4	Durabilità	37
4.1	Resistenza agli organismi biologici.....	37
4.1.1	Le classi di rischio (o di servizio)	37
4.1.2	Gli attacchi al legno dovuti ai funghi e agli insetti	38

4.1.3	Legno strutturale in classe d'uso/servizio 1 e 2	38
4.1.4	Legno strutturale in classe d'uso/servizio 3	39
4.1.5	Legno strutturale in classe d'uso 4 e 5 e in classe di servizio 3	41
4.1.6	Protettivi	42
4.2	Resistenza alla corrosione.....	42
	Riferimenti	42
Capitolo 5	Analisi strutturale	43
5.1	Generalità.....	43
5.2	Membrature.....	45
5.3	Connessioni	46
5.4	Montaggi.....	46
5.4.1	Generalità	46
5.4.2	Strutture a telaio	47
5.4.3	Analisi semplificata di strutture reticolari con connessioni realizzate mediante piastre metalliche punzonate	53
5.4.4	Telai piani e archi	54
	Riferimenti	55
Capitolo 6	Stati limite ultimi	57
6.1	Progetto di sezioni trasversali soggette a sforzi in una sola direzione principale	57
6.1.1	Generalità	57
6.1.2	Trazione parallela alle fibre	58
6.1.3	Trazione perpendicolare alle fibre	58
6.1.4	Compressione parallela alle fibre	59
6.1.5	Compressione perpendicolare alle fibre	60
6.1.6	Flessione	62
6.1.7	Taglio	63
6.1.8	Torsione	64
6.2	Progetto delle sezioni trasversali soggette a sforzo combinato	65
6.2.1	Generalità	65
6.2.2	Sforzi di compressione in una direzione generica rispetto alla direzione delle fibre	66
6.2.3	Flessione e azione assiale di trazione combinate	66
6.2.4	Flessione e azione assiale di compressione combinate	67
6.3	Stabilità delle membrature.....	67
6.3.1	Generalità	67

6.3.2	Colonne soggette sia ad azione assiale di compressione che ad azione assiale di compressione e momento flettente combinati	68
6.3.3	Colonne soggette sia ad azione flettente che ad azione assiale di compressione e momento flettente combinati	72
6.4	Progetto delle sezioni trasversali in membrature a sezione trasversale variabile o ad asse curvo	77
6.4.1	Generalità	77
6.4.2	Travi a semplice pendenza	78
6.4.3	Travi a doppia pendenza, curve e a doppia pendenza curve	79
6.5	Travi con intagli.....	82
6.5.1	Generalità	82
6.5.2	Travi con intaglio agli appoggi	83
6.6	Resistenza d'insieme del sistema strutturale	86
	Riferimenti	94
Capitolo 7	Stati limite di servizio	95
7.1	Deformabilità dei giunti.....	96
7.2	Valori limite per la deformazione delle travi	101
7.3	Vibrazioni	105
7.3.1	Generalità	105
7.3.2	Vibrazioni indotte da macchinari	106
7.3.3	Solai per abitazioni civili	106
	Riferimenti	111
Capitolo 8	Collegamenti con connettori metallici	113
8.1	Generalità	113
8.1.1	Prescrizioni per i connettori	115
8.1.2	Connessioni con connettori multipli	116
8.1.3	Connessioni con piani di taglio multipli	117
8.1.4	Forze nelle connessioni non parallele alle nervature	120
8.1.5	Forze nelle connessioni alternate	122
8.2	Capacità portante laterale dei connettori metallici a perno	122
8.2.1	Generalità	123
8.2.2	Connessioni legno-legno e pannello-legno	123
8.2.3	Connessioni acciaio-legno	126
8.3	Connessione mediante chiodi.....	127
8.3.1	Chiodi soggetti a carico laterale	128
8.3.1.1	Chiodi soggetti a carico laterale – generalità	128

8.3.1.2	Chiodi soggetti a carico laterale – connessioni chiodate legno - legno	132
8.3.1.3	Chiodi soggetti a carico laterale – connessioni chiodate pannello - legno	132
8.3.1.4	Chiodi soggetti a carico laterale – connessioni chiodate acciaio - legno	133
8.3.2	Chiodi soggetti a carico assiale	133
8.3.3	Chiodi soggetti a carico assiale e laterale combinati	135
8.4	Connessione mediante graffe	136
8.5	Connessione mediante bulloni	136
8.5.1	Bulloni soggetti a carico laterale	137
8.5.1.1	Bulloni soggetti a carico laterale – generalità e connessioni bullonate legno – legno	137
8.5.1.2	Bulloni soggetti a carico laterale – connessioni bullonate pannello – legno	139
8.5.2	Bulloni soggetti ad azioni assiali	139
8.6	Connessione mediante perni	141
8.7	Connessione mediante viti	141
8.7.1	Viti soggette a carico laterale	143
8.7.2	Viti soggette a carico assiale	145
8.8	Connessione mediante piastre metalliche punzonate	148
8.9	Connettori ad anelli tagliati e a piastre di taglio	148
8.10	Connettori a piastra dentata	151
	Riferimenti	153

Capitolo 9	Componenti e assemblaggi	155
9.1	Componenti.....	155
	Generalità	155
9.1.1	Travi incollate ad anima sottile	156
9.1.2	Travi incollate a flange sottili	164
9.1.3	Colonne composte meccanicamente e incollate	172
9.2	Assemblaggi.....	172
9.2.1	Travi reticolari	172
9.2.2	Travi reticolari con connettori metallici a piastra punzonata	173
9.2.3	Diaframmi di copertura e di piano	173
9.2.3.1	Generalità	173
9.2.3.2	Analisi semplificata dei diaframmi di solaio e di tetto	174
9.2.4	Diaframmi costituiti da muri	177
9.2.4.1	Generalità	177
9.2.5	Controventatura	178

9.2.5.1	Generalità	178
9.2.5.2	Membrature singole in compressione	179
9.2.5.3	Controventatura di sistemi di travi o di travi reticolari	180
	Riferimenti	182
Capitolo 10	Dettagli costruttivi e controllo di qualità	185
10.1	Generalità	185
10.2	Materiali	185
10.3	Giunti incollati.....	186
10.4	Connessioni mediante connettori metallici.....	186
10.4.1	Chiodi	186
10.4.2	Bulloni e rondelle	186
10.4.3	Viti	187
10.5	Trasporto e montaggio.....	187
10.6	Controllo	187
10.7	Regole speciali per strutture a diaframma	187
10.8	Regole speciali per travi reticolari con connettori a piastra metallica punzonata	187
	Riferimenti	188
Capitolo 11	Allegati informativi	189
11.1	Allegati informativi.....	189
11.2	Allegato A (informativo): rottura per taglio a blocco e a nicchia in connessioni multiple acciaio-legno con perni	190
11.3	Allegato B (informativo): travi collegate meccanicamente	192
11.3.1	Analisi semplificata	192
11.3.2	Sezioni trasversali	193
11.3.3	Ipotesi	193
11.3.4	Passi dei connettori	194
11.3.5	Deflessioni originate dai momenti flettenti	194
11.3.6	Valori della rigidezza efficace a flessione, $(EI)_{ef,y}$, a_1 , a_2 , γ_1 e γ_3 per le sezioni illustrate nella Figura B.1	194
11.3.7	Sforzi normali	194
11.3.8	Massimi sforzi di taglio	195
11.3.9	Carico nei connettori	195
11.4	Allegato C (informativo): colonne composte.....	199
11.4.1	Ipotesi	199
11.4.2	Capacità portante	199

11.4.3 Colonne composte meccanicamente – rapporto di snellezza efficace	201
11.4.4 Colonne composte meccanicamente – azioni sui connettori	202
11.4.5 Colonne discrete – cerchiature o rinforzi	202
11.4.6 Colonne tralicciate con giunti incollati o chiodati	203
Capitolo 12 Il legno strutturale esposto al fuoco (EN 1995-1-2)	207
12.1 Introduzione	207
12.2 Le basi della progettazione	207
12.3 Il comportamento del legno strutturale esposto al fuoco	208
12.4 Azioni dovute al fuoco.....	208
12.5 I valori di progetto delle proprietà dei materiali sotto l'azione del fuoco	209
12.6 Rapporti di combustione e riduzione della sezione trasversale delle membrature	209
12.7 Procedura di progetto per il calcolo della resistenza § di un elemento in legno strutturale esposto all'azione del fuoco	210
12.8 Connessioni	211
Riferimenti	213
Capitolo 13 Il progetto dei diaframmi murari intelaiati multipiano in legno strutturale	215
13.1 Introduzione.....	215
13.2 Le forme costruttive standard.....	217
13.2.1 Pannelli murari	217
13.2.2 Pannelli di solaio	217
13.2.3 Fondazioni	220
13.3 Schema dei muri strutturali	220
13.3.1 Organizzazione generale	220
13.3.2 Aperture	220
13.3.3 Carico verticale	220
13.3.4 Carico del vento	220
13.4 Carico sul telaio.....	222
13.4.1 Carichi verticali	222
13.4.2 Carichi orizzontali	223
13.5 Casi di carico e fattori parziali di carico per l'analisi dei muri	223
13.5.1 Casi di carico	223
13.5.2 Fattori parziali di carico	223

13.6 Metodo per l'analisi semplificata dei diaframmi di muro riportata nella PD 6993-1, paragrafo 21	224
13.6.1 Introduzione	224
13.6.2 Analisi a telaio e a ribaltamento per i diaframmi murari	225
13.6.3 Condizioni d'estremità sottovento	227
13.6.4 Trasmissione delle forze attraverso lo spessore dei solai	227
Riferimenti	239
Capitolo 14 Possibili variazioni alla EN 1995-1-1	241
Generalità	241
Argomenti che potrebbero cambiare	241
Paragrafo 1.2	241
Paragrafi 2.2.3(3), 2.2.3(4) e 2.3.2.2(1)	241
Paragrafo 4.2, Tabella 4.1	242
Paragrafo 6.1.5(4)	242
Paragrafo 6.1.8	243
Paragrafo 6.2.3(2)	243
Paragrafo 6.5.2, Equazione 6.60	243
Paragrafo 8.3.2(4)	243
Paragrafo 8.3.2(6)	243
Paragrafo 8.4(6)	243
Paragrafo 8.4(7)	243
Paragrafo 8.6(3)	244
Paragrafo 8.7.1	244
Paragrafo 8.7.2(4)	244
Paragrafo 8.8.5.1(1)	244
Paragrafo 8.8.5.1(2)	244
Paragrafo 8.8.5.1(4)	244
Paragrafo 8.8.5.2(1)	245
Paragrafo 8.9, Tabella 8.7	245
Paragrafo 8.10, Tabella 8.8	245
Allegato A (informativo): rottura del tipo a blocco e a nicchia nelle connessioni del tipo a perno multiplo e miste acciaio-legno	245
Allegato B.4 (informativo): travi composte meccanicamente	245
Indice analitico	247

Premessa

La EN 1995 è l'Eurocodice per la progettazione del legno per uso strutturale e per i materiali a base di legno; esso è suddiviso nella EN 1995-1 per la progettazione in generale e nella EN 1995-2 per la progettazione dei ponti. La EN 1995-1 è ulteriormente suddivisa in due parti:

- EN 1995-1-1: 2004 + A1: 2008, 'Eurocodice 5: Progettazione di strutture in legno – Parte 1-1: Generalità – Regole comuni e regole per gli edifici'
- EN 1995-1-2, 'Eurocodice 5: Progettazione di strutture in legno – Parte 1-2: Generalità – Progettazione strutturale antincendio',

La EN 1995-1-1: 2004 + A1: 2008, 'Eurocodice 5: Progettazione di strutture in legno – Parte 1-1: Generalità – Regole comuni e regole per gli edifici', è il codice che descrive i principi e le regole di progettazione da impiegare per la progettazione del legno per uso strutturale e per i materiali a base di legno negli edifici e nelle strutture dell'ingegneria civile e la presente guida copre principalmente il contenuto di tale codice. Nella presente guida il documento di riferimento è indicato come EN 1995-1-1. Nel caso in cui si consideri la progettazione per l'esposizione al fuoco, un orientamento è fornito nel Capitolo 12 relativamente ai principi, ai requisiti e alle regole della EN 1995-1-2 che si devono applicare.

Generalità

Il contenuto della presente guida copre i principali requisiti di progettazione dell'Eurocodice EN 1995-1-1, e, se del caso, sono fornite informazioni di base al fine di chiarirne l'applicazione e alcune limitazioni d'uso di certe regole di progettazione. Un considerevole numero di regole di progettazione nella EN 1995-1-1 sono state dedotte empiricamente, ed è sottolineata perciò l'importanza di impiegare le unità di misura per determinate funzioni come specificato nelle regole. Nel caso in cui i contenuti siano delegati al recepimento delle singole nazioni, il requisito è presente nell'Annesso Nazionale Britannico all'Eurocodice EN 1995-1-1 e il riferimento è incluso nella guida al contenuto di tale documento. Informazioni complementari non in contraddizione così come una guida rispetto a soggetti non trattati dalla EN 1995-1-1, sono pubblicati in PD 6693-1: 2012⁽¹⁾, che includono Corrigendum n. 1, Raccomandazioni per la progettazione delle strutture di legno in accordo con 'l'Eurocodice 5: Progettazione delle strutture in legno – Parte 1: Generalità - Regole comuni e regole per gli edifici'. Tale documento è stato pubblicato di recente, e, nel caso in cui il suo contenuto sia significativo per l'applicazione delle regole contenute nella EN 1995-1-1 coperte dalla presente guida, è stato fatto ad esso riferimento nella guida. Per esem-

1. [N.d.T: Alcuni standard nel Regno Unito non necessitano di avere lo status di British Standard (BS), per il quale occorre seguire lo standard per gli standard BS 0, A, che solo garantisce il necessario grado di consultazione e consenso pubblici, ma tali standard sono spesso documenti provvisori e soggetti ad ulteriore revisione sulla base dell'esperienza d'uso maturata nel primo o nei primi due anni di applicazione; molti di essi sono indicati con la sigla PD (Published Documents)].

plificare i requisiti del codice, sono riportati nella guida esempi con alcuni elementi di problematiche progettuali, e, nel caso di applicazione dei carichi di progetto, questi ultimi dovrebbero essere tratti dall'applicazione delle regole principali contenute nella EN 1990 e nella EN 1991.

CEN/TC 250, il Comitato Tecnico del Comitato Europeo per la standardizzazione (CEN) responsabile per le materie tecniche relative al presente codice, ha rinvenuto alcuni errori nel codice così come argomenti per i quali si pensa sia richiesta una chiarificazione riguardo all'interpretazione. I punti in questione devono ancora essere estesamente discussi all'interno del Comitato, e se approvati verranno pubblicati in un corrigendum prima della prossima integrale revisione del codice dopo il 2015.

Alcuni degli argomenti considerati significativi nella progettazione e probabilmente tali da essere incorporati nel corrigendum sono brevemente citati nell' Appendice A e, se del caso, nei capitoli della presente guida.

Struttura di questa guida

I titoli usati nella presente guida fino al Capitolo 11 seguono i titoli delle sezioni nella EN 1995-1-1 e, nel caso in cui riferimenti incrociati, citazioni di parti di testo, figure, tabelle o equazioni estrapolate dal codice siano stati incorporati nel testo della guida, la singola informazione è stata stampata in carattere italico. Le espressioni dell'autore, qualora siano numerate, hanno numeri con prefisso D (per la Guida per i Progettisti): per esempio, Equazione (D6.7) nel Capitolo 6.

Il capitolo 12 copre argomenti presenti nella EN 1995-1-2 e i titoli impiegati fanno riferimento a specifici argomenti in tale codice. Qualora rilevante il suddetto approccio è stato ripetutamente impiegato.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare le varie persone che erano competenti delle basi necessarie per lo sviluppo della EN 1995-1-1 e che hanno dato consigli riguardo ad argomenti trattati in questa guida.

J. Porteous
R. Ross

Introduzione

Il materiale presentato in questa introduzione attinge alla prefazione allo standard Europeo EN 1995-1-1: 2004 + A1: 2008, 'Eurocodice 5: Progettazione di strutture in legno – Parte 1-1: Generalità – Regole comuni e regole per gli edifici', usando i medesimi titoli come riportati nel codice. ⁽¹⁾

Background al programma degli Eurocodici

Nel 1975, allo scopo di eliminare gli ostacoli di natura tecnica agli scambi commerciali e di armonizzare le specifiche tecniche tra i paesi membri dell'Unione Europea, fu deciso dalla CEC che sarebbe stato sviluppato un insieme di norme tecniche armonizzate per la progettazione di edifici e per i lavori di ingegneria civile. Ciò portò allo sviluppo del programma degli Eurocodici Strutturali che produsse standard di progettazione in genere consistenti di un certo numero di parti, e comprendenti i seguenti 10 documenti:

EN 1990 'Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale'

EN 1991 'Eurocodice 1: Azioni sulle strutture'

EN 1992 'Eurocodice 2: Progetto di Strutture in Calcestruzzo Armato'

EN 1993 'Eurocodice 3: Progetto di Strutture in Acciaio'

EN 1994 'Eurocodice 4: Progetto di Strutture Composte Acciaio-Calcestruzzo'

EN 1995 'Eurocodice 5: Progetto di strutture in Legno'

EN 1996 'Eurocodice 6: Progetto di Strutture in Muratura'

EN 1997 'Eurocodice 7: Progettazione Geotecnica'

EN 1998 'Eurocodice 8: Progettazione Antisismica delle Strutture'

EN 1999 'Eurocodice 9: Progetto di Strutture in Alluminio'

Tali documenti sono concepiti per essere coerenti con gli standards nazionali, e, nel caso della progettazione del legno strutturale nel Regno Unito, le BS, documenti nazionali, sono stati ritirati e sostituiti dai requisiti della EN 1995.

Stato e campo di applicazione degli Eurocodici

Gli Eurocodici servono come documenti di riferimento che coprono diversi argomenti. Essi forniscono regole per la progettazione strutturale, informazione che è rilevante agli scopi delle specifiche contrattuali e che dà una struttura logica per la concezione di specifiche tecniche armonizzate.

1. [N.d.T: le espressioni riportate nel testo qui tradotto, per le divisioni tra prodotti, sono scritte nella forma $a \cdot b \cdot c / d \cdot e \cdot f$, come nel testo originale; tali espressioni devono però essere interpretate nel modo formalmente corretto come $(a \cdot b \cdot c) / (d \cdot e \cdot f)$].

Le regole per la progettazione strutturale coprono i requisiti progettuali relativi ai prodotti, ai componenti strutturali e alle strutture complete per le tipologie di costruzione comunemente impiegate. Nel caso in cui si debba impiegare una tipologia costruttiva non corrente o le regole di progettazione non coprano la particolare situazione progettuale, si deve ricorrere alla consulenza specialistica.

Norme Nazionali che adottino gli Eurocodici

Nel Regno Unito, gli standard nazionali sono pubblicati dal British Standards Institute (BSI), e la condizione per implementare gli Eurocodici è che lo standard nazionale comprenda il testo completo dell'Eurocodice come pubblicato dal Comitato Europeo di Standardizzazione (CEN), senza alterazioni, e incluse tutte le Appendici. Lo standard nazionale può includere un titolo di pagina nazionale e una prefazione nazionale che precede il testo dell'Eurocodice, e può essere seguito da un'Annesso Nazionale.

Aspetti che in un Eurocodice sono lasciati alla decisione delle singole nazioni sono indicati come Parametri Determinati a livello Nazionale (NDPs) e sono esclusivamente tali aspetti ed eventuali orientamenti nell'uso degli annessi informativi contenuti nell'Eurocodice cui è possibile fare riferimento negli Annessi Nazionali.

L'Annesso Nazionale può anche includere un riferimento ad una Informazione Complementare Non-Contraddittoria (NCCI) che può essere impiegata per agevolare nell'applicazione delle regole proprie dell'Eurocodice.

Collegamenti tra gli Eurocodici e le specifiche tecniche di prodotto armonizzate (EN ed ETA)

C'è una necessità di coerenza tra le specifiche tecniche presenti negli Eurocodici e le specifiche tecniche armonizzate relative ai prodotti da costruzione. Inoltre, nel caso in cui sia fatto riferimento agli Eurocodici nella marchiatura CE di un prodotto da costruzione, l'allegata informativa deve includere un'inequivocabile dichiarazione che indichi quale NDP è stato applicato.

Informazioni aggiuntive specifiche per la EN 1995-1-1

La EN 1995 è un codice basato sui concetti degli stati limite che, per la progettazione delle nuove strutture, deve essere impiegato insieme alla EN 1990: 2002 e alle parti pertinenti della EN 1991.

Esso è applicato insieme al metodo dei fattori parziali cui fa riferimento la EN 1990, e si raggiungono accettabili livelli di affidabilità usando i valori numerici raccomandati per i fattori parziali e altri parametri di affidabilità.

Una descrizione sommaria dei principali requisiti della EN 1990 e della EN 1991 che hanno rilevanza nell'uso della 1995-1-1 è presente nei capitoli a ciò dedicati in questa guida.

Il CEN/TC 250, il Comitato Tecnico del Comitato Europeo per la Standardizzazione (CEN) responsabile degli aspetti tecnici associati al presente codice, ha individuato alcuni errori nel codice stesso così come aspetti per i quali si pensa che siano richiesti chiarimenti interpretativi.

I punti in questione devono ancora essere estesamente discussi all'interno del comitato, e qualora vi sia accordo sono attesi per la pubblicazione in un corrigendum prima della prossima completa revisione del codice, che avrà luogo oltre il 2015.

Alcuni degli argomenti considerati come significativi per la progettazione e che probabilmente saranno inseriti nella rettifica sono evidenziati nell'Appendice A e, se del caso, vi si farà riferimento nella guida.

Appendici Nazionali alla EN 1995-1-1

I paragrafi nella EN 1995-1-1 nei quali è consentita una libertà di scelta nazionale sono indicati nell'Annesso Nazionale alla BS EN 1995-1-1: 2004 + A1: 2008 (che include la Rettifica Nazionale No. 2), lo UK Annesso Nazionale 'all'Eurocodice 5: Progettazione di strutture in legno – Parte 1-1: Generalità – Regole comuni e regole per gli edifici', così come segue:

Paragrafo	Commento	Par. 2.3.1.2(2)P, Par. 2.3.1.3(1)P, Par. 2.4.1(1)P, Par. 6.1.7(2), Par. 6.4.3(8), Par. 7.2(2), Par. 7.3.3(2), Par. 8.3.1.2(4), Par. 8.3.1.2(7), Par. 9.2.4.1(7), Par. 9.2.5.3(1), Par. 10.9.2(3), Par. 10.9.2(4)
2.3.1.2(2)P	Assegnazione di carichi alle classi di durata del carico	
2.3.1.3(1)P	Assegnazione delle costruzioni in legno alle classi di servizio	
2.4.1(1)P	Coefficienti parziali per le proprietà del materiale	
6.1.7(2)	Fattore correttivo per l'influenza delle fessure sulla resistenza al taglio	
6.4.3(8)	Sforzi di trazione perpendicolari alle fibre in travi a doppia pendenza, curve e con pendenza arcuate	
7.2(2)	Valori limite per la freccia massima	
7.3.3(2)	Limitazione delle vibrazioni per i piani residenziali	
8.3.1.2(4)	Capacità portante laterale per i chiodi all'estremità delle fibre	
8.3.1.2(7)	Tipologie sensibili allo splitting nei giunti chiodati	
9.2.4.1(7)	Resistenza a telaio dei diaframmi murari	
9.2.5.3(1)	Fattori correttivi per sistemi controventanti	
10.9.2(3)	Tolleranze per il montaggio di travi reticolari: freccia massima	
10.9.2(4)	Tolleranze per il montaggio di travi reticolari: massimo fuori piombo rispetto alla verticale	

Una guida è anche data sull'uso degli Allegati informativi agli Eurocodici, i.e. *Allegato A*, *Allegato B*, e *Allegato C*.

N.d.t. L'analogia tabella riportata nell'Annesso Nazionale Italiano alla EN 1995-1-1 è riportata di seguito:

Paragrafo	Commento
2.3.1.2(2)P	Assegnazione di carichi alle classi di durata del carico
2.3.1.3(1)P	Assegnazione delle costruzioni in legno alle classi di servizio
2.4.1(1)P	Coefficienti parziali per le proprietà del materiale
6.4.3(7)	Sforzi composti di trazione perpendicolari alle fibre e taglio in travi a doppia pendenza, curve e con pendenza arcuate
7.2(2)	Valori limite per la freccia massima
7.3.3(2)	Limitazione delle vibrazioni per i piani residenziali
8.3.1.2(4)	Capacità portante laterale per i chiodi all'estremità delle fibre
8.3.1.2(7)	Tipologie sensibili allo splitting nei giunti chiodati
9.2.4.1(7)	Resistenza a telaio dei diaframmi murari

(segue)

Paragrafo	Commento
9.2.5.3(1)	Fattori correttivi per sistemi controventanti
10.9.2(3)	Tolleranze per il montaggio di travi reticolari: freccia massima
10.9.2(4)	Tolleranze per il montaggio di travi reticolari: massimo fuori piombo rispetto alla verticale

Informazioni complementari non contraddittorie

La NCCI così come la guida relativa ad argomenti non trattati dalla EN 1995-1-1 è pubblicata nella PD 6693-1: 2012, Incorporato Corrigendum No. 1, 'Raccomandazioni per la progettazione delle strutture in legno – Parte 1: Generalità – Regole comuni e regole per gli edifici'.

Qualora il contenuto di tale documento sia significativo nell'applicazione delle regole contenute nella EN 1995-1-1 coperte dalla presente guida, si è fatto ad esso riferimento nella presente guida.

CAPITOLO 5

Analisi strutturale

Questo capitolo riguarda l'analisi strutturale e include consigli su come valutare il comportamento delle connessioni per poter ricavare i valori delle azioni interne nella struttura. Il materiale di questo capitolo è coperto dalla *Sezione 5* della EN 1995-1-1, ed in esso sono trattati i seguenti paragrafi:

- | | |
|----------------|-----------------|
| ● Generalità | <i>Par. 5.1</i> |
| ● Membrature | <i>Par. 5.2</i> |
| ● Collegamenti | <i>Par. 5.3</i> |
| ● Assemblaggi | <i>Par. 5.4</i> |

5.1. Generalità

Le strutture in legno devono essere analizzate mediante modelli di progetto basati sui metodi elastici lineari, che in generale comportano l'applicazione dei principi della statica, per determinare le azioni interne nelle membrature, forze e momenti. La verifica delle membrature è positiva se vi è accordo con le prescrizioni stabilite per la resistenza nella EN 1995-1-1 per le tipologie di elementi da progettare (per esempio le regole relative alle colonne, alle travi e ai telai), a seconda dei casi.

L'ausilio all'analisi strutturale fornito nella Sezione 5 è attinente alle caratteristiche delle strutture in legno che hanno un comportamento a telaio sia a nodi fissi che a nodi mobili, e per gli archi. Nel campo del legno strutturale i telai a nodi fissi ricorrenti sono generalmente associati a travi del tetto (incluse le capriate) e di solaio. Tra le strutture intelaiate che hanno potenzialmente la tendenza allo spostamento laterale se soggette a carichi orizzontali o a fenomeni di instabilità, vi sono i telai a portale liberi di spostarsi lateralmente, i telai a portale infissi e gli archi. Tali strutture sono usualmente realizzate mediante legno strutturale laminato incollato, legno laminato impiallacciato, o pannelli composti di legno strutturale e legname comune, e, allo scopo di semplificare i dettagli ed il montaggio e favorire il trasferimento del momento flettente nella struttura, esse sono di solito dotate di due o tre cerniere. Alcuni esempi dei suddetti tipi di struttura sono illustrati nella Figura 5.1.

Le strutture costituite da lastre intelaiate sono molto diffuse nella costruzione di case d'abitazione ed edilizia residenziale in generale, come caso particolare di costruzioni intelaiate in legno strutturale. In tali costruzioni i montanti in legno forniscono il supporto verticale nel caso di impiego come solaio o tetto, mentre la resistenza laterale viene realizzata fissando lo strato di rivestimento ai montanti ottenendo così elementi di controvento. L'azione orizzontale è generalmente trasferita ai controventi tramite il funzionamento a diaframma delle strutture dei solai e del tetto. Tale tipo di struttura è illustrata ancora dalla Figura 5.1, ed i modelli per la progettazione sono di solito

basati nell'ipotesi di applicazione della teoria della plasticità.

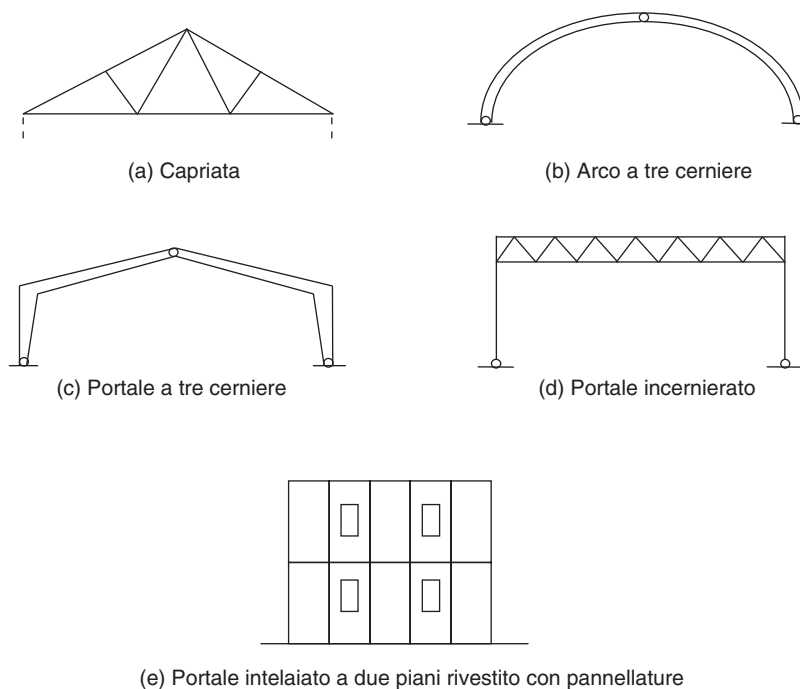


Fig. 5.1 - (a-d) Strutture intelaiate e (e) a piattaforma

I modelli strutturali impiegati per tutti i tipi di strutture in legno devono considerare gli effetti delle variabili che influenzano il comportamento del legno strutturale e dei prodotti a base di legno, e, se necessario, tali variabili devono essere determinate sperimentalmente. Oltre alle azioni in generale, le principali variabili da considerare nei modelli per la progettazione sono gli effetti dell'umidità, della viscosità e della durata dei carichi, e tutti tali effetti sono considerati nell'applicazione delle regole contenute nella EN 1995-1-1.

Nel caso di strutture intelaiate e di strutture ad arco, le azioni interne nei componenti in legno devono essere ricavate da un'analisi globale, infatti la EN 1991-1-1 richiede l'impiego di un modello con analisi elastica lineare. Solitamente, un'analisi lineare elastica del prim'ordine è accettabile per calcolare le azioni interne, mentre gli effetti del second'ordine dovuti alla non linearità d'asse delle membrature saranno implicitamente considerati seguendo le relative regole per la progettazione delle membrature riportate nella *Sezione 6* dell'Eurocodice. Per alcuni tipi di struttura (per esempio le strutture a nodi spostabili), ciò non sarà sufficiente per considerare gli effetti delle variazioni nella geometria della struttura, pertanto in questi casi deve essere svolta un'analisi elastica del second'ordine. E quanto detto sempre nell'ipotesi che sia ipotizzabile un comportamento elastico lineare del materiale, ma l'analisi considera anche gli effetti della variazione della configurazione geometrica sotto l'azione dei carichi di progetto così come l'instabilità. Qualche indicazione riguardo alle imperfezioni iniziali della configurazione indeformata sono svolte nel *paragrafo 5.4.4*; tuttavia non sono ancora fornite nella EN 1995-1-1 regole per tenere in conto l'effetto delle imperfezioni geometriche fuori piano sul comportamento della struttura, e tale argomento deve ancora essere sviluppato del tutto nel codice. Tipiche strutture che probabilmente richiedono la considerazione di effetti del second'ordine sono i telai a portale infissi e

gli archi, ed i criteri per l'impiego di deformazioni iniziali fuori asse nell'analisi di tali strutture sono sviluppati nel *paragrafo 5.4.4.*

Par. 5.4.4

In ogni analisi le proprietà di rigidezza da attribuire alle membrature e alle loro connessioni devono essere appropriate per il tipo di struttura da studiare, e i requisiti della EN 1995-1-1 sono contenuti nei *paragrafi 2.2.2(1)* e *2.3.2.2* e discussi nella Sezione 5.4 della presente guida.

Par. 2.2.2(1)
Par. 2.3.2.2

Allorquando i collegamenti in una struttura hanno un'adeguata duttilità, le azioni interne possono essere ricavate mediante i metodi elasto-plastici. Non è data alcuna indicazione al progettista su come si debba intendere il significato di 'adeguata duttilità'; tuttavia, quando si realizzano i collegamenti metallici a perno richiamati nella *Sezione 8* e l'ipotesi con cui sono stati progettati è basata sulla rottura duttile invece che fragile, tali collegamenti devono essere considerati avere la suddetta proprietà.

La EN 1991-1-1 richiede di considerare gli effetti della deformazione delle connessioni (cioè slittamenti e rotazioni) nella determinazione degli effetti delle azioni interne (sforzi) della struttura. Per le tipologie di connessione cui si fa riferimento nella EN 1995-1-1 l'effetto del comportamento dei collegamenti sarà quantificato mediante la modellazione delle rigidzze traslazionali e/o rotazionali delle connessioni stesse nell'analisi globale, come menzionato nella *Sezione 5.4.2*. Dette rigidzze sono ricavate da opportune proprietà di slittamento nel *paragrafo 7.1*, richiamato nel Capitolo 7 nella presente guida, ed in più il progettista deve tenere in considerazione i requisiti dei *paragrafi 2.2.2(1)P* e *2.3.2.2*, come esposto in precedenza.

Par. 7.1

Par. 2.2.2(1)
Par. 2.3.2.2

5.2. Membrature

Non vi sono prescrizioni per considerare gli effetti delle disomogeneità del legno strutturale o dei prodotti a base di legno nell'analisi globale. I requisiti in termini di grado di resistenza dei materiali pongono un limite alla tipologia e all'estensione dei difetti che sono accettabili per un impiego strutturale, e, la garanzia che la progettazione della membratura sia svolta in accordo con le relative regole di progetto contenute nella EN 1995-1-1, assicura che gli effetti di tali difetti siano implicitamente considerati. L'unica circostanza in cui sono poste al progettista delle ulteriori restrizioni è la progettazione delle connessioni, per cui il *paragrafo 10.4.1* richiede che siano limitati, nella zona del collegamento, le mancanze di legno, le fenditure, i nodi ed altri difetti. È lasciato al suo giudizio quali dettagli siano accettabili, e ciò in generale sarà funzione della tipologia di connessione da impiegare.

Par. 10.4.1

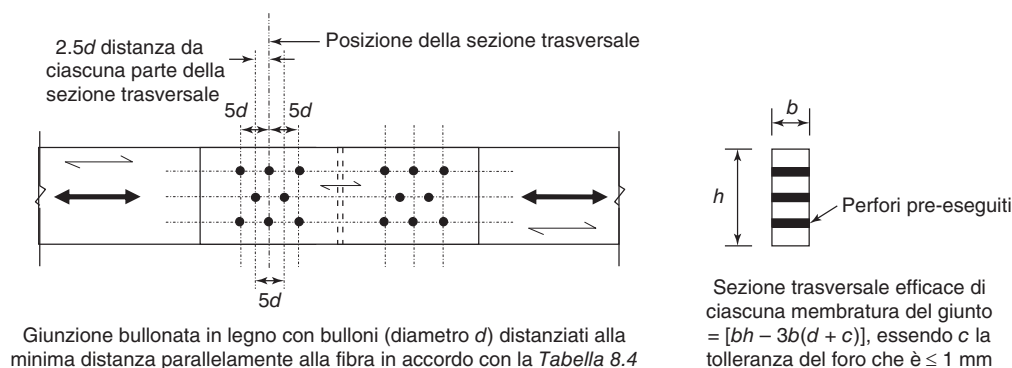


Fig. 5.2 - Sezione trasversale efficace in un giunto con bulloni multipli

Par. 10.2

Vi sono dei limiti alla massima non linearità d'asse consentita per le membrature, e essi sono riportati nel *paragrafo 10.2* e ad essi si fa riferimento nella Sezione 10.2 nella presente guida. Nel caso in cui si svolga l'analisi globale impiegando un'analisi lineare elastica del prim'ordine, come affermato nella Sezione 5.1, le membrature sono verificate a fronte delle forze e dei momenti flettenti forniti dall'analisi, e gli effetti di questa non linearità d'asse sulla resistenza e sulla stabilità sono implicitamente contenuti nelle regole di progettazione del codice. Il progettista deve garantire che tali limiti siano specificati con chiarezza e osservati, dato che le regole di progettazione sono valide solo se essi non sono superati.

Nel caso in cui la sezione trasversale di una membratura si ridotta, ciò deve essere considerato nella progettazione della stessa membratura. Se si tratta di un effetto locale (per esempio mancanza di area in una connessione) si può ritenere che la membratura abbia la piena sezione trasversale nella modellazione dell'analisi strutturale globale, ma si deve impiegare la sezione ridotta per la verifica di resistenza.

Per le connessioni, se si realizzano i perfori la perdita di area connessa alla perforazione deve essere considerata. Fa eccezione il caso in cui la connessione sia sottoposta ad un'azione di compressione, e nei fori siano disposti dei connettori con rigidità maggiore di quella del legno strutturale o del prodotto a base di legno. Questo è certamente il caso delle connessioni mediante chiodi o viti o perni metallici, ma non quello dei bulloni, dato che il perforo in questo caso non è riempito completamente. Inoltre, se si usano chiodi o viti di diametro fino a 6 mm, purché non vi sia perforazione, può considerarsi l'intera sezione trasversale della membratura.

Se le connessioni sono realizzate con connettori multipli, e si adotta il passo minimo tra essi parallelamente alla giacitura delle fibre, come definito nella *Sezione 8*, devono essere considerati efficaci nella sezione di verifica tutti i fori presenti entro una distanza pari alla metà del passo minimo nella direzione di giacitura delle fibre. Un esempio di tale verifica è riportato nella Figura 5.2.

5.3. Connessioni

Par. 5.4.2

Le connessioni devono essere progettate per trasferire le forze e i momenti flettenti che derivano dall'analisi strutturale globale, e il progettista deve decidere se devono essere modellate come cerniere o con incastri. Una guida su quale delle due ipotesi assumere è fornita nel *paragrafo 5.4.2*. Se i collegamenti sono modellati come incastri, la verifica di progetto deve includere l'effetto dei momenti flettenti. Tale verifica sarà ottenuta seguendo le regole di progettazione nella *Sezione 8*.

5.4. Montaggi

5.4.1. Generalità

Per le strutture in legno sottoposte a condizioni di carico normali, incluso il carico del vento, è necessario usare solo metodi di analisi statica. Se la struttura è intelaiata in modo tale che gli effetti di deformabilità siano impediti, l'analisi globale è sviluppata impiegando il metodo elastico lineare del prim'ordine. Se le connessioni nella struttura sono assunte come incastri, l'analisi deve considerare gli effetti dei momenti flettenti, e se invece sono delle cerniere, è necessaria un'analisi lineare elastica per una struttura con cerniere. Tale analisi è anche adatta nel caso di travi reticolari formate da triangoli, con collegamenti mediante piastre metalliche punzonate, correntemente denomi-

nate nel Regno Unito come travi a capriata. A ciò si fa riferimento nella EN 1995-1-1 come ad 'analisi semplificata', mentre i requisiti di tale metodo sono descritti nel *paragrafo 5.4.3*.

Par. 5.4.3

Se la struttura deve far fronte a carichi oscillanti (per esempio vibrazioni causate da macchinari), è probabile sia richiesta un'analisi dinamica. Nel caso di vibrazioni causate dall'uomo negli edifici residenziali, i requisiti di validazione sono soddisfatti osservando le condizioni fissate nel *paragrafo 7.3.3* e i relativi paragrafi nell'Allegato Nazionale alla EN 1995-1-1.

Par. 7.3.3

5.4.2. Strutture a telaio

Il presente paragrafo riporta la procedura di modellazione da impiegarsi per le strutture a telaio in legno, e segue la metodologia normalmente impiegata per la modellazione ai fini dell'analisi con il computer. È costruito il sistema delle linee d'asse per formare l'ossatura del modello, e i punti d'intersezione di tali linee in corrispondenza delle connessioni sono comunemente denominati nodi. Le linee devono essere posizionate in modo da coincidere con le linee baricentriche delle membrature principali della struttura, e, per quanto riguarda le rimanenti membrature (per esempio gli elementi interni nelle strutture reticolari), tali linee devono essere contenute all'interno della sezione del profilato. Nel caso in cui la linea d'asse nel modello non coincida con la linea baricentrica, l'effetto dovuto a una qualunque eccentricità deve essere considerato nella verifica di resistenza della membratura. Nel caso in cui vi siano delle connessioni eccentriche nella modellazione, come accade di frequente nel caso degli appoggi delle travi reticolari, ciò può essere messo in conto mediante l'uso di elementi fittizi. È essenziale che tali elementi siano disposti in modo tale da rispecchiare in modo realistico il comportamento del nodo e allo scopo di prevenire i problemi d'instabilità che sorgono nell'analisi. Il supporto alla modellazione dei nodi è facilmente reperibile in letteratura, e le basi riguardo a tale argomento sono date da Nielsen (2003). Esempi delle conseguenze dell'eccentricità tra linee d'asse nel modello e linee baricentriche per tipici dettagli di strutture reticolari e per i giunti sono illustrati nella Figura 5.3.

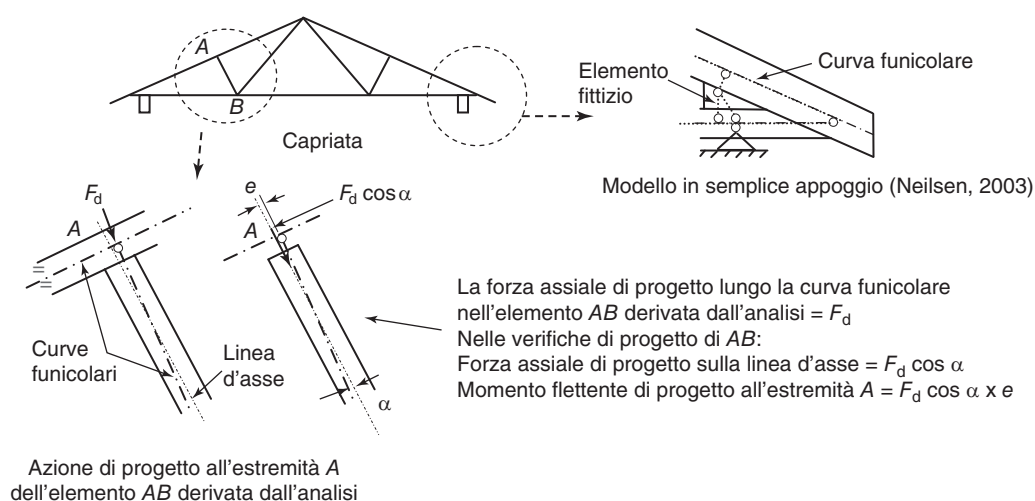


Fig. 5.3 - Effetti della modellazione: dettagli

Nel caso sia svolta un'analisi lineare elastica del prim'ordine, come riportato nella Sezione 5.2 non vi sono necessità di considerare le non linearità d'asse iniziali, dato che le regole per la verifica della resistenza della membratura implicitamente tengono in conto tali effetti. Nel caso di un'analisi del second'ordine, sono considerati gli scostamenti di tipo geometrico, a tal riguardo sono esposti nel *paragrafo 5.4.4* requisiti specifici relativi a telai piani ed archi.

Par. 5.4.2(6) Il *paragrafo 5.4.2(6)* pone particolare attenzione sulla necessità di usare nell'analisi gli appropriati valori di rigidezza per le membrature e per le connessioni, e tali informazioni sono esposte nei *paragrafi 2.2.2(1)P*, 2.2.3 e 2.3.2.2. I valori impiegati per le proprietà di rigidezza dipendono dal fatto che l'analisi sia svolta o per calcolare le deformazioni agli stati limite di servizio o per calcolare la distribuzione delle azioni interne agli stati limite ultimi, e una guida per quanto riguarda le proprietà di rigidezza per tali differenti requisiti è riassunta come segue:

- **Analisi della deformazione agli stati limite di servizio.** In un'analisi per calcolare le deformazioni istantanee, devono essere usati i valori medi delle pertinenti proprietà (cioè il valore medio del modulo di elasticità flessionale ($E_{0,mean}$), il valore medio del modulo di elasticità tangenziale (G_{mean}) e il valore medio del modulo di scorrimento (K_{ser})).

In un'analisi per calcolare la deformata finale (cioè la somma tra la deformata istantanea e la deformata viscosa), i valori calcolati dipenderanno dal fatto che le membrature abbiano le medesime o differenti proprietà viscosse (cioè il loro rispettivo fattore di deformazione, k_{def} , sia il medesimo o sia diverso). Nel primo caso, si impiegano i valori medi come più sopra definito, nel secondo caso, devono essere adottati i valori finali medi come riportato nel *paragrafo 2.3.2.2(1)*. Tali valori medi finali sono i seguenti: modulo di elasticità flessionale ($E_{0,mean}/(1+k_{def})$), modulo di elasticità tangenziale ($G_{mean}/(1+k_{def})$) e il modulo di scorrimento ($K_{ser}/(1+k_{def})$). Dato che i *paragrafi 2.3.2.2(3)* e 2.3.2.2(4) richiedono di calcolare un valore doppio di k_{def} per le connessioni in legno strutturale e per quelle in materiali a base di legno, ad esclusione delle strutture con connessioni realizzate mediante piastre di collegamento in acciaio (caso nel quale si può sostenere l'uso legittimo del singolo valore di k_{def}), la rigidezza della connessione sarà sempre differente dalla rigidezza della membratura, e sarà necessario che tali strutture siano calcolate impiegando i valori medi finali.

- **Analisi delle forze agli stati limite ultimi.** Nel caso di analisi lineare elastica del prim'ordine, come asserito nel *paragrafo 2.2.2(1)P*, i valori usati per le proprietà di rigidezza dipenderanno dal fatto che le membrature o i componenti della struttura abbiano le stesse o differenti proprietà funzioni del tempo (cioè il valore di k_{def}). Se il valore di k_{def} è uguale ovunque, si usano i valori medi, mentre se non è così, devono essere usati i valori medi finali tarati in funzione della componente di carico che causa il maggior rapporto sforzo-deformazione, come definito nel *paragrafo 2.3.2.2(2)*. I valori medi finali sono: modulo di elasticità flessionale ($E_{0,mean}/(1+\psi_2 k_{def})$), modulo di elasticità tangenziale ($G_{mean}/(1+\psi_2 k_{def})$) e il modulo di scorrimento ($K_{ser}/(1+\psi_2 k_{def})$). In tali casi, il valore di k_{def} sarà valutato secondo le medesime modalità descritte più sopra per l'analisi della deformazione, ed il valore di ψ_2 sarà quello associato all'azione che genera il massimo rapporto sforzo-deformazione. I valori di ψ_2 sono riportati nell'Allegato Nazionale alla EN 1990, e ove il rapporto maggiore sia dovuto ad un'azione perma-

nente, ψ_2 è sostituito dal valore 1. L'impegno necessario per determinare l'azione che causa il massimo rapporto sforzo-deformazione può essere notevole, pertanto l'adozione del valore 1 per ψ_2 in tutte le condizioni di progetto all'interno di questa categoria causa uno scostamento in termini di percentuale dei valori degli sforzi modesto, e conduce ad un risultato accettabile. Nel caso di un'analisi lineare elastica del second'ordine, il *paragrafo 2.2.2(1)P* stabilisce che le proprietà di rigidezza siano basate sui valori di progetto non corretti per tener conto della durata dei carichi. Si applicano quindi le regole nel *paragrafo 2.4.1(2)P*, e i valori impiegati sono il modulo di elasticità flessionale ($E_{0,mean}/\gamma_M$), il modulo di elasticità tangenziale (G_{mean}/γ_M) e il modulo di scorrimento (K_{ser}/γ_M). Il valore del fattore parziale per il materiale γ_M , è ottenuto dalla *Tavola N A.3* nell'Allegato Nazionale alla EN 1995-1-1. Nella Tabella 5.1. sono riportati esempi delle rigidezze e delle condizioni di carico da usare per le analisi di deformazione e delle forze globali per diverse situazioni di progetto. Le proprietà di rigidezza ($E_{0,mean}$ e G_{mean}) sono ottenute dai relativi Standard europei (per esempio EN 338 e EN 300) e dalla letteratura dei produttori.

Il fatto che le connessioni nelle strutture intelaiate siano rigide alla rotazione o siano delle cerniere ha poca influenza sulla distribuzione delle azioni assiali. Ciò che è influenzato è invece il comportamento a deformazione, ovverossia le strutture che hanno le connessioni incernierate sono più deformabili di quelle che, a pari struttura, hanno i nodi rigidi alla rotazione. Il codice consente che sia il progettista a stabilire di progettare le connessioni seguendo l'una o l'altra ipotesi. Se la rotazione relativa delle membrane in una connessione non ha un effetto rilevante nella distribuzione dei momenti flettenti e delle azioni assiali nella membratura, si può assumere l'ipotesi di nodi rigidi alla rotazione. Purché le connessioni siano state progettate per far fronte ai momenti flettenti e alle azioni assiali di progetto in esse presenti in accordo alle regole contenute nella Sezione 8, le correnti tipologie di strutture intelaiate dovrebbero essere tali da poter essere modellate come rigide alla rotazione. È possibile anche considerare un comportamento semi-rigido, e una guida sul come valutare la rigidezza delle connessioni semi-rigide per tale tipologia di analisi può essere rinvenuta dal testo di Porteous e Kermani (2007).

Il codice consente di progettare le connessioni giuntate nelle strutture reticolari (tralicci) come rigide, a condizione che esse soddisfino alle regole per la progettazione contenute nel *paragrafo 5.4.2(9)*.

Tabella 5.1 - Requisiti per le rigidezze e i carichi per analisi elastiche lineari del primo e del second'ordine delle strutture in legno e dei prodotti a base di legno ^a

Scopo dell'analisi		Valori delle rigidezze per gli elementi della struttura (vedi la Tabella 3.2 e i Capitoli 2 e 3 nella presente guida per il valore da usare k_{def})		Carichi di progetto usati nell'analisi (EN 1990, Appendice Nazionale alla EN 1990 e Capitolo 2 nella presente guida	
Analisi elastica lineare del prim'ordine					
(a) Calcolare le deformazioni istantanee agli SLS		(a) Valori medi del modulo di elasticità ($E_{0,mean}$), del modulo di elasticità tangenziale (G_{mean}), del modulo di scorrimento (K_{ser})		(a) Combinazione di carico di progetto ottenuta da quella caratteristica. ^b $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \pm Q_{k,1} \pm \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
		(b) Le proprietà di rigidezza per questa analisi saranno quelle date in (a) divise per k_{def} . Tuttavia, per semplificare l'approccio, i valori di rigidezza usati sono quelli dati in (a), e l'effetto della funzione k_{def} è considerato nei carichi di progetto		(b) Come in (a) più la combinazione di carico di progetto ottenuta da quella quasi-permanente moltiplicata per k_{def} . ^d $k_{def} \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \pm \sum_{i > 1} \psi_2 Q_{k,i} \right)$	
(c) (i) Calcolare le deformazioni finali agli SLS – le membrature e i componenti hanno le stesse proprietà viscosse. (Per le strutture con collegamenti, ciò trova applicazione solo nel caso d'impiego di piastre in acciaio di rinforzo o equivalenti.) (Paragrafi 2.3.2.2(3) e 2.3.2.2(4)) e Appendice A (paragrafo 2.2.3(3))		(c) (i.a) Valori medi del modulo di elasticità ($E_{0,mean}$), del modulo di elasticità tangenziale (G_{mean}), del modulo di scorrimento (K_{ser}) per deformazioni istantanee		(c) Combinazione di progetto ottenuta da quella caratteristica ^b meno la combinazione quasi-permanente: $\left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \pm Q_{k,1} \pm \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right) - \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \pm \sum_{i > 1} \psi_2 Q_{k,i} \right)$	
		(i.b) Valori medi finali del modulo di elasticità ($E_{0,mean}/(1 + k_{def})$), del modulo di elasticità tangenziale ($G_{mean}/(1 + k_{def})$), del modulo di scorrimento ($K_{ser}/(1 + k_{def})$) per la deformazione viscosa. (I requisiti dei paragrafi 2.3.2.2(3) e 2.3.2.2(4) saranno validi per calcolare il fattore di deformazione da usare per i collegamenti)		(i.b) Combinazione di progetto ottenuta da quella quasi-permanente: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \pm \sum_{i > 1} \psi_2 Q_{k,i}$	

Tabella 5.1 (segue) - Requisiti per le rigidezze e i carichi per analisi elastiche lineari del primo e del second'ordine delle strutture in legno e dei prodotti a base di legno ^a

Scopo dell'analisi		Valori delle rigidezze per gli elementi della struttura (vedi la Tabella 3.2 e i Capitoli 2 e 3 nella presente guida per il valore da usare k_{def})	Carichi di progetto usati nell'analisi (EN 1990, Appendice Nazionale alla EN 1990 e Capitolo 2 nella presente guida
<p>O, in alternativa (opzione a favore di sicurezza suggerita nella presente guida):</p> <p>(ii) Calcolare le deformazioni finali agli SLS -le membrature e i componenti hanno differenti proprietà viscosse.</p>		<p>(i) Valori medi finali del modulo di elasticità $(E_{0,mean}/(1 + k_{def}))$, del modulo di elasticità tangenziale $(G_{0,mean}/(1 + k_{def}))$, del modulo di scorrimento $(K_{ser}/(1 + k_{def}))$ per la deformazione finale. (I requisiti dei paragrafi 2.3.2.2(3) e 2.3.2.2(4) saranno validi per calcolare il fattore di deformazione da usare per i collegamenti) (Ovvero, è richiesta un'analisi)</p>	(ii) Come in (a)
	<p>(d) Calcolare la distribuzione delle forze globali agli ULS - tutte le membrature hanno le stesse proprietà viscosse. Per le strutture con collegamenti, ciò trova applicazione solo nel caso d'impiego di piastre in acciaio di rinforzo o equivalenti. (Paragrafo 2.2.2(1)P)</p>	<p>(d) Come in (a)</p>	(d) Combinazione di progetto attenuata da quella fondamentale combinazione di carico da impiegare, cioè Equazioni 6.10, o 6.10a o 6.10b nella EN 1990
	<p>(e) Calcolare la distribuzione delle forze globali agli ULS - le membrature hanno differenti proprietà viscosse. (Paragrafi 2.2.2(1)P e 2.3.2.2(2))</p>	<p>(e) Valori medi finali corretti in funzione della componente di carico che causa il maggior rapporto sforzo-deformazione: modulo di elasticità $(E_{0,mean}/(1 + \psi_2 k_{def}))$, modulo di elasticità tangenziale $(G_{0,mean}/(1 + \psi_2 k_{def}))$, del modulo di scorrimento $(K_{ser}/(1 + \psi_2 k_{def}))$. Se il maggior rapporto sforzo-deformazione è dovuto al carico permanente, ψ_2 deve essere pari a 1.^c (I requisiti dei paragrafi 2.3.2.2(3) e 2.3.2.2(4) saranno validi per calcolare il fattore di deformazione da usare per i collegamenti)</p>	(e) Come in (d)
Analisi lineare elastica del second'ordine			
	<p>(a1) Calcolare la distribuzione delle forze globali agli ULS. (Paragrafo 2.2.2(1)P)</p>	<p>(a1) Valori di progetto del modulo di elasticità $(E_{0,mean}/\gamma_M)$, del modulo di elasticità tangenziale $(G_{0,mean}/\gamma_M)$, del modulo di scorrimento (K_{ser}/γ_M). Il valore del</p>	(a1) Come in (d)

Tabella 5.1 (segue)- Requisiti per le rigidezze e i carichi per analisi elastiche lineari del primo e del second'ordine delle strutture in legno e dei prodotti a base di legno ^a

Scopo dell'analisi	Valori delle rigidezze per gli elementi della struttura (vedi la Tabella 3.2 e i Capitoli 2 e 3 nella presente guida per il valore da usare k_{def})	Carichi di progetto usati nell'analisi (EN 1990, Appendice Nazionale alla EN 1990 e Capitolo 2 nella presente guida
	coefficiente parziale del materiale, γ_M , è ottenuto dalla Tabella NA.3 nell'Appendice nazionale alla EN 1995-1-1	
SLS, stati limite di servizio; ULS, stati limite ultimi ^a		
^a La parola 'strutture' cui si fa riferimento in tabella significa in generale ogni tipo di struttura, incluse le travi semplicemente appoggiate e continue		
^b Nella presente guida, è usata la combinazione di carico caratteristica, in accordo con i requisiti del paragrafo 2.2.3(2). Nel caso in cui vi sia un consenso tra il progettista e il cliente sull'applicazione della combinazione di carico agli stati limite reversibili, può essere usata quella frequente data dall' Equazione 6.15b nella EN 1990 invece di quella caratteristica		
^c Se sono i carichi variabili a generare il maggior rapporto sforzo-deformazione, può essere usato per l'analisi un valore $\psi_2=1$, e i valori degli sforzi ottenuti non differiranno sostanzialmente da quelli ottenuti usando lo ψ_2 associato al maggiore rapporto sforzo-deformazione		
^d Le proprietà di rigidezza impiegate nell'analisi della deformazione viscosa sono valori medi divisi per k_{def} e per essere in grado di cumulare le deformazioni istantanee e viscosse in una sola analisi, esse sono mantenute come valori medi, e il carico quasi-permanente (usato per il calcolo della deformazione viscosa) è moltiplicato per il fattore k_{def}		

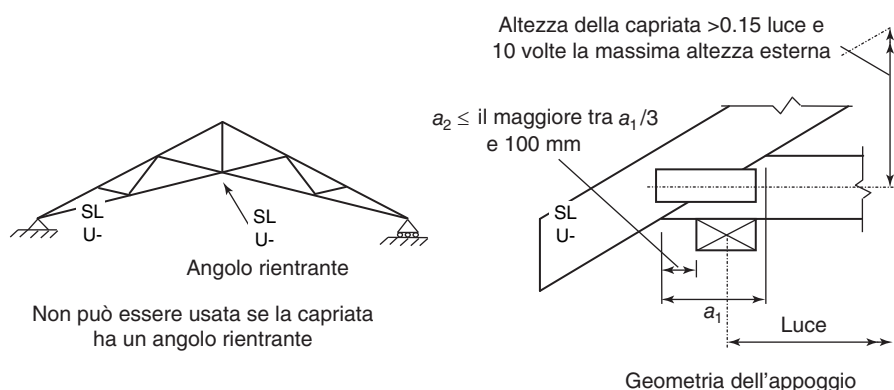


Fig. 5.4 - Requisiti per un'analisi semplificata

5.4.3. Analisi semplificata di strutture reticolari con connessioni realizzate mediante piastre metalliche punzonate

Il *paragrafo 5.4.3* afferma che il metodo semplificato di analisi può solo essere usato per strutture reticolari costituite da collegamenti realizzati mediante piastre metalliche punzonate, e fornisce le condizioni che devono essere soddisfatte: **Par. 5.4.3**

- non devono esserci angoli rientranti nel profilo esterno;
- la larghezza dell'appoggio è compresa entro la quantità a_1 , e la lunghezza a_2 illustrata nella Figura 5.4 è minore o uguale della maggiore distanza tra $a_1/3$ e 100 mm;
- l'altezza della struttura reticolare è maggiore di 0.15 volte la luce e 10 volte la massima larghezza esterna della membratura.

Nel caso si impieghi tale metodo di analisi, la struttura reticolare è modellata assumendo che tutti i nodi siano delle cerniere, ed è sviluppata un'analisi lineare elastica del prim'ordine con l'applicazione dei carichi di progetto **nelle posizioni dei nodi**. Le azioni assiali nelle membrature sono calcolate mediante l'analisi strutturale. Se tali membrature sono soggette a momenti flettenti e ad azioni taglianti causate dal carico laterale (per esempio dovuti all'effetto di carichi permanenti e variabili applicati alle membrature), esse sono analizzate come travi appoggiate in corrispondenza dei loro nodi d'estremità e sottoposte ai carichi laterali di progetto. Se una membratura è costituita da un singolo elemento in semplice appoggio, essa è progettata come una trave in semplice appoggio, mentre, nel caso sia continua, come una trave continua su più appoggi in corrispondenza della posizione dei nodi. Per poter considerare l'effetto della deformazione dei nodi nelle zone d'appoggio e la parziale rigidità dei nodi, si riducono del 10% i momenti flettenti nelle membrature nelle zone di continuità in corrispondenza degli appoggi. Tali membrature sono quindi verificate per l'azione combinata dei momenti flettenti e delle azioni taglianti unite alle azioni assiali ricavate dall'analisi della struttura con cerniere nei nodi.

5.4.4. Telai piani e archi

Nel caso di strutture deformabili e quindi tali da generare forze interne aggiuntive ed effetti d'instabilità, comunemente denominati come effetti del second'ordine, tali effetti devono essere valutati nell'analisi. Ricadono in tale categoria le strutture intelaiate a nodi spostabili e gli archi.

In questi casi è accettabile analizzare le strutture con l'impiego di analisi lineare elastica del prim'ordine, considerando gli effetti del second'ordine con una successiva analisi supplementare. La verifica delle membrature può quindi essere svolta con l'impiego dei risultati di dette analisi in parallelo con le pertinenti regole per la progettazione delle membrature presenti nella EN 1995-1-1. Un esempio di come si possano tenere in conto gli effetti del second'ordine sulla base di quanto detto è riportato nel testo di Mortensen (1995). In alternativa si può usare un software basato sulla teoria elastica che includa gli effetti del second'ordine.

Par. 5.4.4 Se si svolge un'analisi elastica lineare del second'ordine, il *paragrafo 5.4.4* fornisce un'indicazione sulle rotazioni iniziali e sugli spostamenti rispetto alla linea d'asse inde-

Par. 2.2.2(1)P formata iniziali che devono essere inclusi nel modello, e, come richiesto dal *paragrafo 2.2.2(1)P*, le proprietà di rigidezza devono essere ricavate con l'impiego delle regole

Par. 2.4.1(2)P contenute nel *paragrafo 2.4.1(2)P*. Un riassunto dei valori di rigidezza di progetto e delle condizioni di carico richiesti per un'analisi lineare elastica del second'ordine è riportato nella Tabella 5.1.

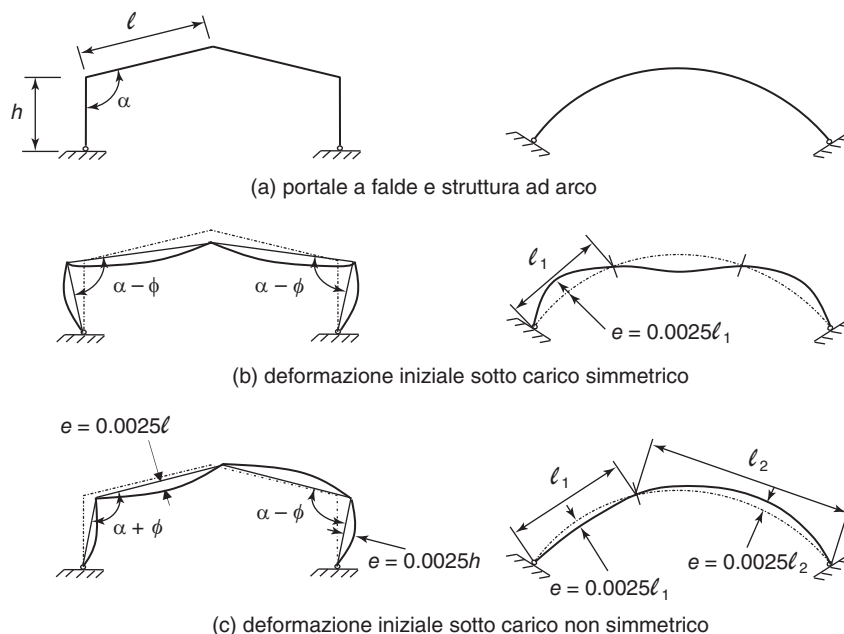


Fig. 5.5 - Esempi di ipotizzata deviazione iniziale nella geometria per un'analisi del second'ordine. Basati sulla EN 1995-1-1 (Figura 5.3) Riprodotto con il benestare della BS EN 1995-1-1, © British Standards Institution 2004

Gli scostamenti dalla linearità d'asse da inserire nel modello sono definiti nel *paragrafo 5.4.4*, e accennati di seguito. Essi sono illustrati nel caso di un portale incernierato e di un arco nella Figura 5.5, casi nei quali gli scostamenti iniziali rispetto alla configurazione geometrica teorica sono come illustrato di seguito:

- Si applica uno spostamento angolare ϕ alla struttura, o alle parti pertinenti. Inoltre si impone una deformata sinusoidale tra i punti a momento flettente nullo

nella struttura e la massima eccentricità all'interno di tale deformata imposta sarà pari ad e , i cui valori sono dati di seguito.

- Il valore di ϕ non deve essere inferiore a:

$$\phi \geq 0.005 \text{ radianti per } h \leq 5 \text{ m}$$

$$\phi \geq 0.005 \times (5/h)^{0.5} \text{ radianti per } h > 5 \text{ m}$$

ove h è la lunghezza della membratura o l'altezza della struttura in metri.

- Il valore di e deve essere maggiore o uguale a:

$$e \geq 0.0025 \times \ell$$

ove ℓ è la lunghezza della membratura in metri, come illustrato nella Figura 5.5.

Nel caso in cui si realizzino telai a portale ad uno o a più piani ed essi siano a nodi spostabili, non vi è al momento alcun accenno a limitazioni da porre; tuttavia, si suggerisce nella presente guida che il fatto di incorporare gli spostamenti iniziali fuori linea d'asse e le rotazioni iniziali nel modello come illustrato nella Figura 5.6 dovrebbe portare ad un risultato accettabile. I valori di ϕ sono definiti nella Figura 5.5, e gli spostamenti iniziali dalla linea d'asse teorica sono basati sui requisiti del *paragrafo 10.2*. **Par. 10.2**

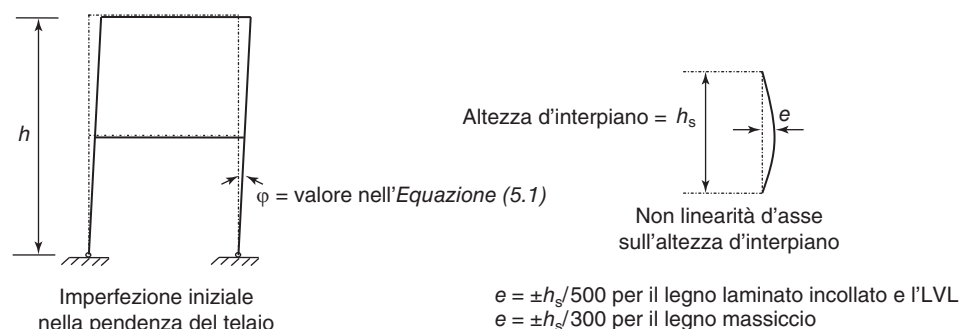


Fig. 5.6 - Imperfezioni iniziali ipotizzate per una struttura intelaiata

Riferimenti

- Mortensen L (1995) Plane frames and arches. In *Timber Engineering: STEP 2* (Blass HJ, Aune P, Choo BS *et al.* (eds)). Centrum Hout, Almere.
- Nielsen J (2003) Trusses and joints with punched metal plate fasteners. In *Timber Engineering* (Thelandersson S and Larsen HJ (eds)). Wiley, Chichester, ch. 19.
- Porteous J and Kermani A (2007) *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Blackwell, Oxford.

Indice analitico

alburno 38, 39, 40

allegati informativi

- Allegato A 189
- Allegato B 189
- Allegato C 189

Allegato A

- connessioni multiple acciaio-legno con perni 190
- possibili variazioni alla EN 1995-1-1 241
- rottura a blocco 190
- rottura a nicchia 190
- rottura di tipo duttile 190
- rottura fragile 190

Allegato B

- analisi semplificata 192
- travi collegate meccanicamente 192

Allegato C

- colonne composte 199

analisi semplificata

- carico nei connettori 195
- deflessioni originate dai momenti flettenti 194
- ipotesi 193
- massimi sforzi di taglio 195
- passi dei connettori 194
- sforzi normali 194
- valori della rigidezza efficace a flessione 194

analisi semplificata dei diaframmi di muro

- analisi a telaio per i diaframmi murari 225
- esempio di calcolo di muri a diaframma multipiano 227

Annesso Nazionale 4

Annesso Nazionale Italiano alla EN 1995-1-1 5

area

- lorda 58
- netta della sezione trasversale 58, 59

assemblaggi 155

assi principali 57

azioni 15

bulloni 136

- caricati lateralmente 137
- distanze minime 137
- numero efficace 137, 138
- soggetti a trazione 139

calcolo della resistenza

- metodo della sezione trasversale ridotta 210
- metodo delle proprietà ridotte 210

chiodi 127

- caricati lateralmente 128
- diametro massimo 128
- distanza minima tra righe adiacenti 129
- effetto corda 135
- espulsione della testa 134
- filettati 134
- infissi con ricorso al perforo preliminare 128
- infissi manualmente 127
- infissi mediante apposite pistole sparachiodi 127
- lisci 134
- lunghezza di infissione 129
- lunghezza di sovrapposizione 129
- lunghezza filettata 135
- numero di chiodi per piano di taglio 131
- numero effettivo nella riga 130
- numero efficace dei 130
- resistenza allo sfilamento 134
- resistenza caratteristica allo sfilamento del tratto lato punta 134
- resistenza caratteristica di espulsione dalla testa 134
- riga di 129
- sfilamento del tratto di punta 134
- soggetti ad azione assiale 133

chiodi lisci

- perdita di attrito 133
- scorrimento nel tempo 133

coefficiente di instabilità 73

coefficiente di sistema 86, 87

coefficienti d'instabilità 68

colonne composte

- azioni sui connettori 202
- capacità portante 200
- cerchiature o rinforzi 202
- ipotesi 199
- progetto di una colonna discreta 204
- rapporto di snellezza efficace 201
- tralicciate con giunti incollati o chiodati 203

colonne composte

meccanicamente e incollate 172

Comitato Tecnico del Comitato Europeo per la standardizzazione (CEN) 2

componenti 155

comportamento 117

condizione di carico

- fattore di variazione della 17

connessione 114

- coefficiente di deformazione 98
- di scorrimento finale 99
- legno-acciaio 97
- legno-calcestruzzo 97
- modulo di scorrimento 98
- piani di taglio 98
- realizzata mediante legno strutturale 97
- rigidezza 115
- rottura di tipo duttile 114
- scorrimento istantaneo 98
- scorrimento per viscosità 98
- tipo fragile 114
- valore caratteristico della capacità portante 115
- valori caratteristici delle capacità laterali 114

connessione con n viti 147

connessione con viti

- numero efficace 147

connessione realizzata mediante

- prodotti a base di legno 97

connessioni

- acciaio-legno 126
- capacità portante caratteristica per piano di taglio per connettore 123
- chiodate legno - legno 132
- chiodate pannello - legno 132

- chiodato legno - OSB con piastra di rinforzo a T 133

- comportamento iperstatico 117

- connessione a tre membrature 119

- connessioni iperstatiche nelle strutture reticolari 117

- legno-legno 123

- mediante bulloni 116

- mediante chiodi 116

- mediante chiodi a gambo liscio 127

- mediante chiodi filettati 127

- mediante graffe 117

- mediante perni 116

- mediante piastre in acciaio di rinforzo 126

- mediante viti 116

- modalità di collasso a nicchia 127

- pannello-legno 123

- piani di taglio multipli 117

- piano di taglio singolo 117

- portanza caratteristica per piano di taglio parallelamente alle fibre 117

- resistenza a forze alternate 122

- resistenza caratteristica di fenditura per i legni teneri 120

- resistenza di progetto 125

- resistenza di progetto alla fenditura 120

- rottura a doppio taglio 123, 126

- rottura a taglio semplice 123, 126

- valore caratteristico della capacità portante 125

connessioni a piastra dentata

- capacità portante laterale 151

- forza nella direzione delle fibre 153

- forza perpendicolare alle fibre 153

- resistenza caratteristica 152, 153

- su due lati 152

- su un solo lato 152

connessioni bullonate 137

- bulloni per riga per piano di taglio 139

- efficace di bulloni 139

- piano di taglio 139

connessioni mediante anelli tagliati

- forza agente lungo la direzione delle fibre 151

- forza perpendicolare alle fibre 151

- rigidezza laterale 151