



cmm

VIII CONGRESSO DE Construção Metálica e Mista

Luís Simões da Silva, CMM
Paulo Cruz, UM
Nuno Lopes, UA
J. Almeida Fernandes, LNEC
António Batista, LNEC

com o apoio de



Universidade do Minho



VIII CONGRESSO DE

Construção Metálica e Mista

Actas do VIII Congresso de Construção Metálica e Mista

Centro Cultural Vila Flor
24 e 25 de Novembro de 2011

Luís Simões da Silva

Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal

Paulo Cruz

Universidade do Minho
Guimarães, Portugal

Nuno Lopes

Universidade de Aveiro
Aveiro, Portugal

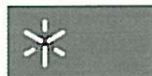
J. Almeida Fernandes

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal

António Baptista

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal

organização: **CMM** – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista
com a colaboração: **UNIVERSIDADE DO MINHO**



Universidade do Minho

VIII Congresso de Construção Metálica e Mista

Copyright © 2011

por Luís Simões da Silva, Paulo Cruz, Nuno Lopes, J. Almeida Fernandes, António Baptista

Editora:

cmm – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista
Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra
Polo II – Rua Luís Reis Santos
3030-788 Coimbra, Portugal
Tel.: +351 239 098 422; Tlm.: +351 965 061 249; Fax: +351 239 405 722
Email: cmm@cmm.pt
Url: www.cmm.pt

1ª Edição: Novembro 2011

Tiragem: 350 exemplares

Não é permitida a reprodução total ou parcial deste livro, o registo em suporte informático, ou a transmissão através de qualquer processo electrónico ou mecânico, sem a prévia autorização por escrito dos titulares dos direitos da edição.

Depósito legal: 335945/11
ISBN: 978-989-95605-2-9

Coordenação editorial: Luís Figueiredo Silva
Concepção gráfica da capa: 3LM / Rui Veríssimo
Formatação de conteúdos e paginação: Joana Filipe Albuquerque
Impressão: Multicomp Lda, Mem Martins

Nota da editora

Este texto foi elaborado a partir da reprodução dos originais preparados pelos autores. Por conseguinte, a editora não pode aceitar qualquer responsabilidade pelo conteúdo, nem por possíveis erros no texto.

Índice

Comissões	xv
Prefácio	xvii
Patrocínios	xix

Conferências

<i>Cold-Formed Steel Structures in Seismic Area: Research and Applications</i> Raffaele Landolfo	I-3
<i>Composite Steel-Glass Fins for the Lobby Façade of Iberdrola Tower</i> Francesc Arbós Bellapart	I-23
<i>Construção Metálica: Novas Fronteiras</i> António Reis	I-37
<i>Best Use of Eurocode 3 for Member Design in Frame-Structures</i> Richard Greiner	I-47

Comunicações

Arquitetura e aço

<i>As Casas para os Trópicos em Niamey e Brazzaville como Respostas aos Problemas Habitacionais dos Anos 40 e 50 do séc. XX</i> Tiago A. V. Nunes V. Murtinho Luis Simões da Silva	II-5
<i>Concepção, Dimensionamento e Construção de uma Cobertura Ligeira: Um Exemplo de "Stressed Skin Design"</i> Pedro Morujão Tiago Alves André Domingues	II-15
<i>Customização em Massa de Habitação: Questões e Enquadramento para um Desenvolvimento Prático com Recurso a Aço Enformado a Frio</i> António L. Correia Vitor Murtinho Luis Simões da Silva	II-25
<i>Estruturas Metálicas e Mistas - Opção Sustentável e Coerente na Reabilitação do Edifício Tradicional</i> Pedro M. F. S. Sousa	II-35
<i>Estudio sobre Viviendas Sociales en Zonas Asiladas con Solución de Estructura Metálica</i> Matilde M. Cobo Juan J. J. C. Fonfría Juan D. C. Álvarez	II-45
<i>Reabilitação da Estrutura da Estufa Fria</i> Tomás Nunes da Silva João Appleton Vasco Appleton	II-55
<i>Sistematização Conceptual para o Desenvolvimento de Soluções Construtivas Habitacionais Mutáveis com o Recurso ao Uso Intensivo de Aço</i> Helder J.V. Ferreira Vitor Murtinho Luis Simões da Silva	II-63

Comportamento de estruturas em situação de incêndio

- Análise Experimental do Comportamento ao Fogo de Pilares Mistos de Aço e Betão* II-77
 António M. Correia | Tiago A. C. Pires | João Paulo C. Rodrigues
- Cálculo das Deformações Globais de Secções Rectangulares de Aço em Regime Elastoplástico* II-87
 António Manuel Baptista
- Estudo Paramétrico do Comportamento de Pilares de Aço Sujeitos a Incêndio* II-97
 António M. Correia | João Paulo C. Rodrigues
- Metodologia de Dimensionamento de Parques de Estacionamento Abertos Mistos Aço-Betão em Situação de Incêndio* II-107
 Cécile Haremza | Aldina M. C. Santiago | Luís A. P. Simões da Silva
- Modelação Numérica da Resistência ao Fogo de Vigas em Aço Enformadas a Frio* II-119
 Nuno F. F. S. B. Lopes | Joana R. G. Pinho | Paulo M. M. Vila Real
- Nomogramas Para o Cálculo Expedido da Temperatura de Elementos Estruturais de Alumínio Sujeitos à Acção do Fogo de Acordo com o Eurocódigo 9* II-129
 Joaquim Pinho-da-Cruz | Paulo M. M. Vila Real | Nuno Lopes
- Performance of Partially Encased Beams at Elevated and Room Temperature* II-139
 Paulo A. G. Piloto | Ana B. R. Gavilán | Luis M. R. Mesquita
- Resistência ao Fogo de Vigas Protegidas com Tinta Intumescente: Estudo Experimental* II-149
 Luís M. R. Mesquita | Paulo A.G. Piloto | Sérgio Roque | Mário A. P. Vaz
- Utilização do Software Elefir-EN na Verificação da Resistência ao Fogo de Parques de Estacionamento Sujeitos a Incêndios Localizados Simultâneos* II-159
 Paulo Vila Real | Carlos Couto | Nuno Lopes
- Verificação da Resistência ao Fogo de Elementos Estruturais de Alumínio em Situação de Incêndio de Acordo com o Eurocódigo 9* II-169
 Joaquim Pinho-da-Cruz | Paulo M. M. Vila Real | Nuno Lopes
- Verificação da Segurança de Colmas de Pórticos Metálicos em Situação de Incêndio* II-179
 Carlos Couto | Paulo Vila Real | Nuno Lopes | João Paulo Rodrigues

Comportamento de ligações estruturais

- Avaliação da Resistência à Fadiga de Ligações por Atrito em Aço Estrutural de Alta Resistência S690* II-191
 Bruno F. C. Fontoura | Rui Matos | Abílio M.P. de Jesus | Carlos Rebelo | Luís S. da Silva | Milan Veljkovic
- Dimensionamento e Comportamento Sísmico de Pórticos Metálicos Semi-Rígidos Contraventados* II-201
 António Guedes | Luís Macedo | José Miguel Castro
- Innovative Beam-to-Wall Joints in Steel-Concrete Structural Solutions* II-211
 José A. G. Henriques | Luís A. P. Simões da Silva | Ana Ozbolt | Ulrike Kuhlmann

- Modelo Numérico de Ligação entre Viga Mista e Paredede de Betão Armado: Calibração e Estudo Paramétrico* II-221
José A. G. Henriques | Luís A. P. Simões da Silva | Isabel B. Valente
- Eficiência energética e sustentabilidade de edifícios metálicos**
- Al Bahr Towers* II-235
Paulo Machado
- Avaliação do Comportamento da Componente de uma Ligação com "U" Invertido a Temperaturas Elevadas* II-245
Fernanda R. C. Lopes | David M. M. Rei | Daniel A. B. de Sousa | Alberto B. S. Simões | Aldina M. C. Santiago | Luís A. Simões da Silva | Sandra F. S. Jordão | Rui A. D. Simões | José G.S. da Silva
- Construção Metálica Modular e Eco-Eficiente* II-255
Helena Gervásio | Joaquim Rodrigues | Paulo Santos | Marcelo Duarte | Luís Simões da Silva | Gilberto Vaz
- Ventilação e Eficiência Energética em Edifícios Residenciais com Estrutura em Aço – Caso de Estudo* II-265
Ana Craveiro | Paulo Santos | António Gameiro Lopes | Luís Simões da Silva
- Estabilidade e comportamento estrutural**
- Análise dos Critérios de Desempenho de Pórticos com Contraventamento Centrado* II-277
Andre Tenchini | Carlos Rebelo | Luciano Lima | Luís da Silva | Miguel Serra | Raffaele Landolfo | Mario D'aniello
- Análise Experimental de um Sistema Metálico de Fixação de Fachadas Agrafadas* II-287
Paulo J. S. Cruz | Paulo L. L. Carvalho | Conceição Casal | Eurico Silva
- Análise Fisicamente Não-Linear de Vigas Metálicas no Contexto da GBT* II-295
Miguel Abambres | Dinar Camotim | Nuno Silvestre
- Análise Numérica do Comportamento Estrutural de Vigas em Aço Enformado a Frio* II-305
Luís Laím | João Paulo C. Rodrigues
- Avaliação Experimental do Comportamento Estrutural de Vigas em Aço Enformado a Frio* II-315
Luís Laím | João Paulo C. Rodrigues
- Caracterização dos Cenário de Impacto em Estruturas de Aço* II-325
Pedro M. R. Barata | M. Constança S. Rigueiro | Aldina M. C. Santiago | João P. C. Rodrigues
- Comportamento Estrutural e Dimensionamento de Cantoneiras Comprimidas* II-335
Pedro B. Dinis | Dinar Camotim | Nuno Silvestre
- Dimensionamento de Vigas Contínuas de Aço Enformadas a Frio* II-345
Cilmar Basaglia | Dinar Camotim
- Distorção em Caixões Mistos. Noções Gerais e Aplicação a um Caso Prático* II-355
Ricardo J. Afecto | José O. Pedro | António J. Reis

- Efeito da Geometria na Resistência de Painéis Curvos em Aço* II-365
João Pedro Martins | Luís Simões da Silva | António J. Reis
- Estabilidade de Madres de Aço Enformadas a Frio Considerando a Interação com as Chapas de Cobertura* II-373
André Graça | Cilmar Basaglia | Rodrigo Gonçalves | Dinar Camotim
- Estrutura e Revestimento Envidraçado da Estação Baixa do Teleférico de Gaia* II-383
Miguel M. Guimarães | Ricardo M. Pereira
- Fatigue Behaviour of Welded Tubular Joints* II-395
Luis Borges | Alain Nussbaumer
- Influência de Elementos de Contraventamento na Estabilidade de Pórticos* II-405
Miguel Sarmiento Peres | João Rocha de Almeida
- Mitigação de Vibrações Devidas ao Vento numa Chaminé Metálica* II-417
Gustavo Oliveira | Elsa Caetano | Álvaro Cunha | Fernando Bastos
- Resistência de Secções Rectangulares de Aço Totalmente Plastificadas Submetidas a Flexão Desviada e Esforço Normal* II-427
António Manuel Baptista
- Rumo à Aplicação do Método da Resistência Directa no Dimensionamento de Vigas ao Esmagamento de Alma* II-437
Pedro Natário | Nuno Silvestre | Dinar Camotim
- Sobre a Utilização de Vigas Metálicas Híbridas* II-447
Luís Salvador | António Reis
- Sobre o Comportamento Estrutural de Barras de Aço Comprimidas Formadas por Dupla Cantoneira* II-455
Wanderson Fernando Maia | Luiz C. M. Vieira Junior | Jorge Munaiar Neto | Maximiliano Malite | Benjamin William Schafer
- Técnicas de Medição Experimental: Avaliação por Contacto vs Avaliação Remota* II-467
D. Rei | S. Jordão | L. Simões da Silva | R. Simões
- Verificação da Encurvadura Lateral de Vigas de Secção Variável* II-477
Liliana Marques | Luís Simões da Silva | Richard Greiner | Carlos Rebelo
- Estruturas Mistas**
- Avaliação Probabilística do Comportamento até à Rotura de Estruturas: Aplicação a Vigas Mistas* II-489
José C. Matos | Maria I. B. Valente | Luís C. Neves | Paulo J. S. Cruz
- Encurvadura de Colunas Mistas Parcialmente Betonadas: Avaliação das Disposições do Eurocódigo 4* II-501
Joana Carvalho | Carina Delgado | Rodrigo Gonçalves
- Evaluation of the Resistance Moment for the Initial Stage of Composite Steel Truss and Concrete Beam* II-511
Sérgio P. P. A. Roque | Paulo M. M. Vila Real | Paulo A. G. Piloto | Giovanni A. Plizzari
- Modelação Não Linear de Vigas Mistas em Aço e Betão* II-519
Isabel B. Valente | Ricardo Lage | José António C. Matos

- Sistemas de Conexão em Lajes Mistas Aço-Betão* II-529
Bruno M. S. Marques | Rui A. D. Simões

Estudos e produtos especiais

- Ação do Vento sobre Torres – Análises Comparativas entre RSA e Eurocódigos* II-541
Rui Travanca | Paulo Vila Real | Humberto Varum
- Análise da Robustez de Estruturas Metálicas Sujeitas a um Sismo Principal e Eventos Múltiplos Consecutivos* II-551
Filipe L. A. Ribeiro | André R. Barbosa | Luís C. Neves
- Análise e Dimensionamento Sísmico de Pórticos Metálicos Contraventados Segundo o Eurocódigo 8* II-561
Nelson Lopes | José Miguel Castro | Tiago Ribeiro | Tiago Abecasis
- Contenção das Fachadas do Palácio Lumiares* II-571
José Delgado | João Appleton
- Normas para o Cálculo Estrutural do Vidro – A Nova DIN 18008* II-581
Paulo Machado
- Soluções de Vidro com Intercalares Metálicos Embebidos - do Sombreamento ao Reforço* II-591
Paulo L. L. Carvalho | Paulo J. S. Cruz | Fred A. Veer

Execução e gestão da qualidade da construção em aço

- A Função “Qualidade” no (apoio ao) Fabrico: Perfis Ocos Estruturais Soldados e Conformados a Frio de Aços Não Ligados / NP EN 10219-1/2* II-601
Manuel Peixoto | Bruno Marques
- Controlo da Qualidade e Avaliação da Resistência de Prumos Telescópicos Extensíveis de Aço* II-611
João André | António M. Baptista | Dinar Camotim
- Guia Técnico de Recomendações para Conservação de Estruturas Metálicas* II-621
Maria J. Correia | Hugo Perneta | Maria M. Salta | Hugo Patricio
- Principais Anomalias Observadas em Torres para Radiocomunicações em Portugal* II-633
Rui Travanca | Humberto Varum | Paulo Vila Real
- Sistemas de Protecção Contra Corrosão das Estruturas Metálicas* II-645
M. J. Correia | H. Perneta | M. P. Rodrigues | E. V. Pereira | M. Salta

Grandes projectos e obras

- Acerca da Estrutura de uma Cruz em Fátima* II-659
João Fonseca | Bogdan Stankiewicz
- Análise à Rotura de um Tabuleiro Atirantado Misto Estudo Paramétrico* II-667
José J. Oliveira Pedro | António Reis

<i>Avaliação da Resistência ao Fogo da Estrutura Metálica do Centro de Exposições e Feiras de Oeiras</i>	II-679
Paulo M. M. Vila Real Nuno F. F. S. B. Lopes	
<i>Hotel Axis de Viana do Castelo Conceção e Dimensionamento</i>	II-691
Francisco Bernardo Marco Baptista Rui Ribeiro	
<i>Kanhangulo – Edifício de Habitação, Comércio e Escritórios</i>	II-701
António Monteiro Gonçalo Barreto Jorge Lopes	
<i>Torres Oceano Conceção e Dimensionamento</i>	II-711
Marco Baptista Rui Ribeiro Jorge Lopes	
<i>Vantagem das Estruturas Mistas em Pier e Pontes</i>	II-721
Carlos A. Figueiredo	
 Pontes, viadutos e passadiços metálicos e mistos	
<i>A Aplicação de Tabuleiros Mistos no Atravessamento de Auto-estradas</i>	II-735
Pedro Cabral Susana Bispo Armando Rito	
<i>África Bridge, Novos Desenvolvimentos em Pontes Mistas</i>	II-745
Filipe Santos Luis Simões da Silva Ricardo Carmona	
<i>Calibração Experimental de um Modelo Numérico da Ponte Ferroviária de São Lourenço</i>	II-755
Diogo R. F. Ribeiro Rui A. B. Calçada Raimundo M. Delgado	
<i>Comportamento Diferido de Pontes Híbridas Constituídas por Vãos Laterais Pré-fabricados em Betão Pré-esforçado e Vão Central Misto Aço-Betão: Um Caso Prático</i>	II-765
João Marques Rui Carneiro Barros Miguel Ferraz Renato Bastos	
<i>Efeito da Interação Ponte-Comboio na Resposta Dinâmica de uma Ponte Mista de Pequeno Vão para Tráfego de Comboios de Alta Velocidade</i>	II-775
João M. P. Rocha António A. R. Henriques Rui A. B. Calçada	
<i>Efeito do Tipo de Restrição nos Bordos Longitudinais no Comportamento e Resistência de Placas Metálicas em Pontes</i>	II-785
Pedro Salvado Ferreira Francisco Virtuoso	
<i>Experimental Investigation of Bridge Falsework Cuplok Joints</i>	II-795
João Andréa Robert Beale António M. Baptista	
<i>Lançamento Incremental da Ponte de Fervença</i>	II-805
Rui Ferreira Alves	
<i>Monitorização do Tráfego e dos seus Efeitos na Nova Ponte Ferroviária sobre o Rio Sado</i>	II-815
Carlos M. C. Albuquerque Nuno M. P. Pinto Rui A. B. Calçada Joaquim G. M. Mendes	
<i>Passadiços num Parque Industrial na Azambuja</i>	II-825
Nuno Travassos Júlio Appleton João Saraiva	
<i>Pontão Sobre o Rio Grande da Pipa</i>	II-835
Rui P. C. F. Monteiro Maria J. N. M. Magalhães Miguel A. F. S. Dias	

<i>Ponte Pedonal e Ciclável sobre a 2ª Circular. Conceção Geral e Processo Construtivo</i>	II-845
António A. Fonseca António P. A. Fonseca João A. Fonseca Telmo Cruz Maximina Almeida	
<i>Viaduto Expo 2015 em Milão - Conceção Global e Processo Construtivo</i>	II-855
Cecil Balmoud António A. Fonseca Renato Bastos Tiago Alves António P. A. Fonseca	
Índice de Autores	II-865

Comissão Organizadora

Luís Simões da Silva, CMM
Paulo Cruz, UM
Nuno Lopes, UA
J. Almeida Fernandes, LNEC
António Baptista, LNEC

Comissão Científica

Paulo Vila Real, Presidente, UA
A. Adão da Fonseca, FEUP
Abílio de Jesus, UTAD
Aldina Santiago, FCTUC
Altino Loureiro, FCTUC
Ana Girão Coelho, ISEC
António Baptista, LNEC
António Matos Silva, MARTIFER SA
António Reis, IST
Carlos Martins, MARTIFER SA
Carlos Rebelo, FCTUC
Dinar Camotim, IST
Elsa Caetano, FEUP
Francisco Virtuoso, IST
Helena Gervásio, FCTUC
Isabel Valente, UM
J. Almeida Fernandes, LNEC
João Paulo Rodrigues, FCTUC
João Rocha de Almeida, UNL
José Clemente, REFER
José Miguel Castro, FEUP
José Mota Freitas, FEUP
José Rodrigues, MARTIFER SA
Leonor Côrte-Real, HEMPEL
Luís Borges, BG INGÉNIEURS CONSEILS
Luís Bragança, UM
Luís Calado, IST
Luís Câncio, J.L. CÂNCIO MARTINS, LDA
Luís Costa Neves, FCTUC
Luís Simões da Silva, FCTUC
Manuela Salta, LNEC
Manuel Peixoto, FERPINTA
Nuno Lopes, UA
Nuno Silvestre, IST
Paulo Cruz, UM
Paulo Piloto, IPB
Paulo Santos, FCTUC
Pedro Bandeira, UM

Rui Alves, SOCOMETAL
Rui Simões, FCTUC
Tiago Abecasis, TAL PROJECTO, Lda
Vitor Murtinho, FCTUC

Comissão Executiva

Paulo Cruz, UM
Isabel Valente, UM
Nuno Silvestre, IST
Luís Figueiredo Silva, CMM
Zínia Antunes, CMM
Joana Albuquerque, CMM

CMM Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista | **FCTUC** Faculdade De Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra | **FEUP** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto | **IPB** Instituto Politécnico de Bragança | **ISEC** Instituto superior de Engenharia de Coimbra | **IST** Instituto Superior Técnico | **LNEC** laboratório Nacional de Engenharia Civil | **REFER** Rede Ferroviária Nacional | **UA** Universidade de Aveiro | **UM** Universidade do Minho | **UNL** Universidade Nova de Lisboa | **UTAD** Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



VIII CONGRESSO DE
Construção
Metálica e Mista

EVALUATION OF THE RESISTANCE MOMENT FOR THE INITIAL STAGE OF COMPOSITE STEEL TRUSS AND CONCRETE BEAM

Sérgio P. P. A. Roque^a, Paulo M. M. Vila Real^b, Paulo A. G. Piloto^c and Giovanni A. Plizzari^d

^{a,c} IDMEC, Polytechnic Institute of Bragança, Portugal

^b LABEST, University of Aveiro, Portugal

^d University of Brescia, Italy

Abstract. Composite Steel Truss and Concrete Beam (CSTCB) are composite elements designed to resist bending, consisting of a steel truss encased in concrete casted in place, with a steel base plate or pre-casted concrete plate. Design resistance moment was determined for the initial constructive stage, using simply supported truss beam with three-point bending load. Two different typologies were compared for three different beam lengths, using three dimensional finite element analyses. Critical load was determined for different buckling mode shapes, using linear elastic analysis. The first mode and two other particular buckling mode shapes were considered as initial imperfection modes. The resistance moment was calculated, based on geometric and material non-linear analysis.

1. Introduction

CSTCB beam elements present a wide variety of building solutions, being characterized by two constructive stages. This element is able to support its own weight and the weight of the slabs without any provisional supports, during the initial stage. The design should follow the general rules of Eurocodes for steel structures [1]. The final stage considers the steel truss encased by concrete that behaves similarly to a reinforced concrete (RC) beam [2].

CSTCB have been widely used in Italy in particular for industrial and special structures. The first reference to this product date back to 1967, referenced by Salvatore Leone patent. Different production rules and assessment methods were defined since then, [3].

Fig. 1 represents the first building stage using typical steel base plate, welded to two plane trusses, using two or more reinforcing longitudinal bars.



Fig. 1: Original CSTCB with bottom steel plate. [3]

Longitudinal reinforcement at the bottom and at the top side depends on chosen configuration. Usually two upper bars require on plane steel truss (type I), while three bars or more require more steel trusses (type II), see Fig. 2. These cross sections were selected to evaluate bending resistance.

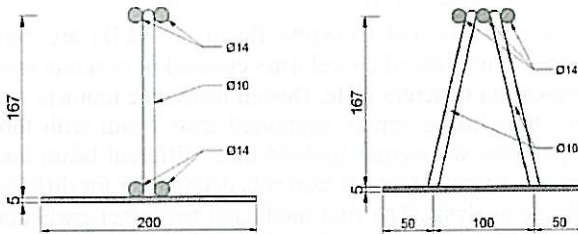


Fig. 2: Different configurations for the initial stage of CSTCB (Type I and Type II)

CSTCB present advantages when compared to traditional steel and concrete solutions. The prefabrication of the steel truss reduces construction time, the steel truss is self-carrying avoiding any type of formwork and temporary supports during construction. These types of CSTCB are able to support higher loads and bigger spans [2].

Eurocodes [4,5] do not provide particular design solutions for these elements. Without any prescriptive design regulation, structural engineers required guidelines for the best practice [6]. This last document presents the recent Italian research about CSTCB, as well as new design procedures for both stages, taking in to consideration the material and structural behaviour, serviceability limit state (SLS) and ultimate limit state (ULS).

In the recent work of Leopoldo Tesser [3], three sets of experiments were developed. The first set considered 4 tests designed for Steel Truss (ST) and more 4 tests with complete CSTCB. The main objective was to investigate bending and shear failure modes. The second set used similar tests for a different steel truss type. Two of them used ST stand-alone while 6 of them used CSTCB. The third set used pre-stressed concrete base plate with steel truss without concrete cast to analyse cracking damage and propagation.

The best practice of Eurocodes [1,4,5] were also used by Quaranta et al [2] to verify the structural safety of CSTCB at room temperature; they defined simply supported beam to the initial stage, using the design loads from self-weight of the truss and dead loads from the floors.

Regarding the ULS of the steel truss, safety should be verified against element instability (lateral torsional buckling) or any local instability (buckling of each element diagonal or longitudinal bar) during building construction, according to EN1993-1-1.

2. Objectives

The main objective of this paper is to determine the bending resistance of CSTCB during the initial stage of construction, using two different types of cross section (Type I and Type II) and three different beam lengths ($L=1.21$ [m], $L=2.80$ [m] and $L=5.04$ [m]).

Two different types of analyses were developed: the elastic buckling analysis was used to determine critical buckling load and buckling mode shapes; the geometric and material non-linear analysis was used to determine bending resistance. All simulations were performed with ANSYS [7].

3. Geometry, loading and material

The steel trusses were very similar and their dimensions are reported herein. Three different beam lengths were considered for each cross section type. Load was applied at mid span, using simple supported beam model with lateral restraint on each extremity, see Fig. 3.

The loading conditions do not correspond to real loading cases; nevertheless this approach foreseen experimental test campaign. Two point loads were applied on the top surface of the plate.

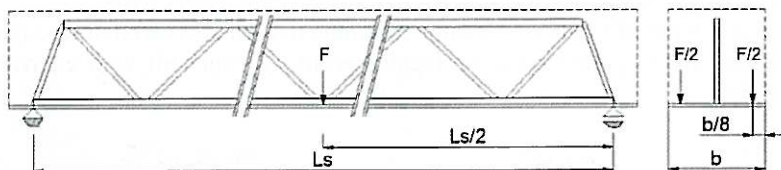


Fig. 3: Loading and supporting conditions

The top chord of this ST is usually built by round or squared bars, welded together with the web truss ($n_{tr}=1$ or $n_{tr}=2$) which is usually built with round bars; the latter are composed by two sequences of bars that are bent in the top node truss and cut at the bottom node which is welded to the steel plate. The longitudinal distance between two consecutive nodes is $2\delta=374$ [mm] (see Fig. 4 for details).

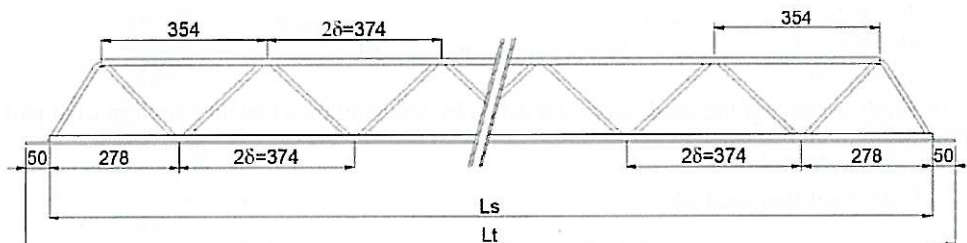


Fig. 4: Steel Truss (ST) geometry

All other geometric details are in accordance with Fig. 2. Table 1 represents the list of elements to be analyzed.

Table 1: Beam type and length

Beam type	Length [m]
I	1.21
	2.80
	5.04
II	1.21
	2.80
	5.04

The design material properties correspond to grade S355. The elastic modulus $E = 2.1 \times 10^{11}$ [Pa] and Poisson ratio $\nu = 0.3$ were used for elastic buckling analysis. For nonlinear analysis, elastic-perfectly plastic model was used, considering the elastic limit equal to $f_y = 355$ [MPa].

4. Numerical analysis

This analysis required the use of three dimensional finite element model, based on finite SOLID 185 ANSYS element, with enhanced strain calculation method. This element presents eight nodes, having three degrees of freedom at each node (translations in each coordinate direction). The enhanced strain calculation method prevents shear locking in bending-dominated problems and volumetric locking in nearly incompressible cases.

Two different types of meshes were built according to each cross section type (see Fig. 5). The round bars were approximated by regular geometry (squared) with equivalent cross sectional area.

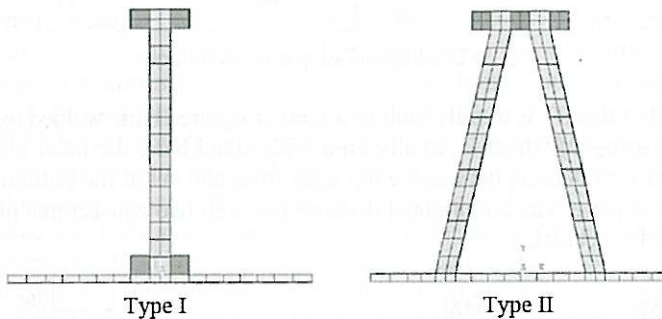


Fig. 5: Finite element model

The convergence of the mesh was established by reducing the element length in each part of the beam model.

4.1 Elastic buckling analysis

The main objective in the elastic buckling analysis is to obtain the critical buckling load (F_{cr}) and buckled mode shapes (the characteristic shape associated with a buckled structure's

response), by solving the associated eigenvalue problem. Eigenvalue buckling analysis predicts the theoretical buckling strength of an ideal linear elastic structure.

The main buckling modes associated to each critical load are summarized in Table 2.

The first buckling mode shape for beam type I was associated with upper bars in compression, with buckled shape in the horizontal plane (HB). The second mode shape was associated with the same bars in compression, with buckled shape in vertical plane (VB). All previous buckled mode shapes were considered as local instabilities. The additional buckling mode for global instability, attained by lateral torsional buckling (LTB), was found for higher mode shapes.

The first buckling mode shape for beam type II was associated with upper bars in compression, with buckled shape in the vertical plane (VB). No local mode shapes were detected for horizontal buckling of the upper bars. The additional buckling mode for global instability was also found for higher order mode.

Table 2: Critical load and main buckling modes

Beam type	Length [m]	Mode	F_{cr} [N]	Shape	Mode	F_{cr} [N]	Shape	Mode	F_{cr} [N]	Shape
I	1.21	1	71982	HB	2	78926	VB	26	509650	LTB
	2.80	1	26111	HB	2	28852	VB	22	99551	LTB
	5.04	1	13961	HB	2	14749	VB	29	45628	LTB
II	1.21	1	124658	VB	-	-	-	39	776010	LTB
	2.80	1	46442	VB	-	-	-	25	175971	LTB
	5.04	1	23876	VB	-	-	-	37	81247	LTB

The buckling modes are represented in Fig. 6, for the case of both cross section types (type I and type II) and beam length equal to 2.80 [m].

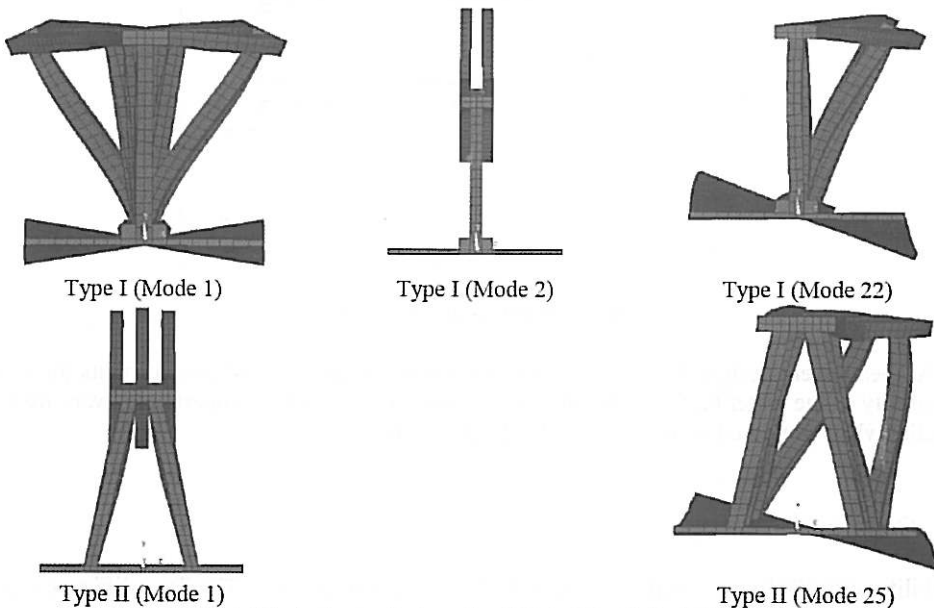


Fig. 6: Mode shapes for type I and II, in ST with $L=2.80$ [m]

4.2 Nonlinear analysis

The nonlinear collapse analysis was performed on each beam with imperfections built in to the model, to determine the bending resistance. The imperfections were introduced by using an amplification factor to eigenvectors, from previous analyses. The eigenvector determined is the closest estimate of the actual mode of buckling. The imperfections remove the sharp discontinuity in the load-deflection response. The imperfection factor was determined for the relevant buckling length for each mode (Lch or Lcr, respectively as buckling length of top chord or buckling length of beam), according to Table 3.

Mode shape	Lch / Lcr Maximum amplitude
HB	2 δ
VB	3 δ
LTB	L

The incremental and iterative solution was considered to determine bending resistance associated to each imperfection. The convergence criterion was defined by force, with a tolerance value equal to 0.1%.

Fig. 7 represents the bending resistance for each cross section type, for each beam length, using local imperfection (Mode 1) and global imperfection (Mode LTB).

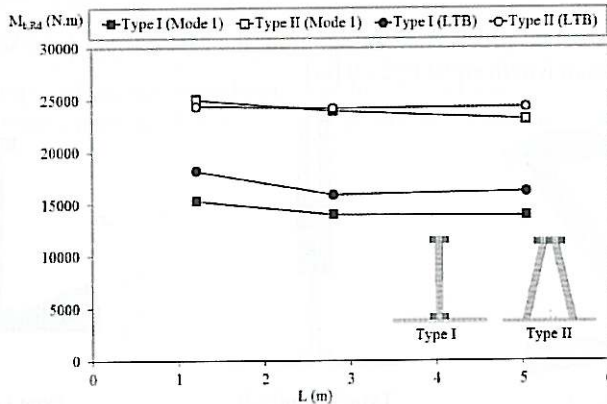


Fig. 7: Bending resistance moment

All beam were designed in such way that the smaller bending resistance accounts for local instability of the upper bars. The bending resistance for this mode of imperfection was always smaller when compared to the other mode of imperfection.

5. Conclusions

Stability of CSTCB was verified for the initial stage of construction (ST). Two different types of cross section were used, based on steel truss with one and two plane frames.

The design of this cross section was made to obtain a local mode of instability in the upper chord of the truss. Different dimensions could be used on the diameter of the upper bars to prevent this local instability and to promote global instability.

The critical load was determined for different buckling modes.

Bending resistance moment was determined for each beam length.

References

- [1] CEN, EN1993-1-1, "Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings", May 2005.
- [2] G. Quaranta, F. Petrone, G.C. Marano, F. Trentadue and G. Monti; "Structural design of composite concrete-steel beams with spatial truss reinforcement elements", Asian journal of civil engineering (building and housing) vol. 12, pp. 155-178, no. 2, 2011.
- [3] Leopoldo Tesser, "Composite steel truss and concrete beams and beam-column joints for seismic resistant frames Modelling, numerical analysis and experimental verifications"; PhD thesis, Department of Construction and Transport, University of Padova, Italy, February 2009.
- [4] CEN, EN1992-1-1, "Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings", December 2004.
- [5] CEN, EN1994-1-1, "Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings", December 2004.
- [6] Assoprem, "Progettare con le travi prefabbricate reticolari miste, PREM", Tecniche nuove, 2011.
- [7] Ansys INC; ANSYS Academic version, Release 12.1, Help System, 2011.