



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI CAGLIARI  
**UNICA**

Università degli Studi di Cagliari

Facoltà di Ingegneria e Architettura

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura

**Magistrale Ingegneria Civile 2 anno a.a. 2022/23**

# Structural Stability and Limit Analysis of Structures

(Instabilità delle strutture e calcolo a rottura)

> **Lezione 0**

Presentazione del corso

***Victor Eremeev***

victor.eremeev@unica.it

# Instabilità delle strutture e calcolo a rottura

Magistrale Ingegneria Civile 2

**Percorso** COMUNE

**Anno Accademico** 2022/2023

**Docenti**

- > Victor A. Eremeev | e-mail: [victor.eremeev@unica.it](mailto:victor.eremeev@unica.it)
- > Emanuele Reccia | e-mail: [emanuele.reccia@unica.it](mailto:emanuele.reccia@unica.it)

**Periodo** I Semestre **CFU** 6 (sei)

**Durata** 60 ore di lezione frontale

**Sito web**

- > <https://www.unica.it/>
- > <https://people.unica.it/victoreremeev/>

# INSTABILITÀ E ANALISI LIMITE

## Obiettivi formativi

L'insegnamento fornisce le basi teorico-applicative dei problemi di instabilità dell'equilibrio; sviluppa, in successione agli insegnamenti di base impartiti nella laurea magistrale, le conoscenze caratterizzanti dei problemi di instabilità delle strutture e dell'analisi limite.

L'obiettivo dell'insegnamento è quello di sviluppare, in modo solido e rigoroso, le problematiche di base dell'instabilità, rendendo chiaro il significato fisico dei modelli meccanici che vengono introdotti e i loro limiti di applicabilità. Frequentando questo corso, gli studenti saranno in grado di sviluppare applicazioni che coprono tutti i problemi trattati. In particolare, saranno affrontati problemi statici e dinamici di stabilità di strutture e solidi e l'analisi limite.

L'obiettivo formativo del corso è quello di rendere l'allievo capace di:

1. riconoscere il problema di stabilità per una data costruzione;
2. selezionare uno schema di soluzione appropriato;
3. calcolare le forze critiche o altri carichi critici;
4. comprendere l'idea di base della stabilità statica e dinamica;
5. fornire analisi limite di strutture plastiche relativamente semplici.

Come obiettivo a lungo termine, l'insegnamento mira inoltre a rendere i futuri ingegneri attenti alla complessità e all'importanza dei problemi strutturali in qualsiasi costruzione e alla necessità di impostarli correttamente e risolverli con metodi appropriati.

# INSTABILITÀ E ANALISI LIMITE

## Prerequisiti

L'insegnamento si colloca nel secondo anno del corso di laurea specialistica in Ingegneria Civile e presuppone le conoscenze impartite durante un percorso di laurea triennale (tipicamente in Ingegneria civile).

In maggiore dettaglio:

A. Prerequisiti fisici:

A-1. Dimensioni e unità di misura;

A-2. Vettori: operazioni fondamentali e formulazione mediante vettori di problemi meccanici.

B. Prerequisiti matematici:

B-1 Funzioni elementari e loro grafici;

B-2 Vettori e geometria analitica;

B-3 Matrici, sistemi di equazioni algebriche lineari, autovalori e autovettori;

B-4 Derivate e studio di funzioni;

B-5 Integrali;

B-6 Equazioni differenziali.

Tutti i prerequisiti sono efficacemente esposti nei testi indicati in bibliografia nella sezione B - Prerequisiti.

# INSTABILITÀ E ANALISI LIMITE

## Contenuti del corso

0. Il concetto di stabilità: sistemi stabili, instabili e indifferenti.
1. Stabilità dei sistemi con numero finito di gradi di libertà.
2. Stabilità dinamica. Criterio di Lyapunov della stabilità.
3. Stabilità Euleriana delle travi. Diverse condizioni al contorno. Appoggi elasticamente cedevoli.
4. Instabilità di travi anelastiche: plasticità e viscoelasticità.
5. Telai e strutture reticolari.
6. Analisi di stabilità delle piastre.
7. Instabilità dei gusci. Fenomeni di instabilità a scatto.
8. Sistemi non conservativi: criterio dinamico di stabilità. Esempi: carichi dipendenti dalla configurazione, momenti esterni, paradosso di Nikolai.
9. Instabilità di solidi simili alla gomma. Problemi tridimensionali di stabilità.
10. Analisi limite di travi e telai piani.

# INSTABILITÀ E ANALISI LIMITE

## Metodi didattici

Lezioni tradizionali alla lavagna, alternate da alcune sessioni di esercitazione aperte al contributo degli allievi.

Per soddisfare esigenze didattiche specifiche connesse alla situazione epidemiologica, è prevista la possibilità di lezioni in diretta streaming o registrazioni delle stesse disponibili on-line.

Inoltre, le esercitazioni potranno essere svolte mediante forme di interazione a distanza con i supporti informatici disponibili.

## INSTABILITÀ E ANALISI LIMITE

### **Modalità di verifica e di valutazione e criteri di attribuzione del voto finale**

Una prova scritta (a base di esercizi), valutata in trentesimi; se superata positivamente (cioè con una votazione almeno pari a 18/30) da accesso all'esame orale obbligatorio che verte prevalentemente sugli aspetti teorici della disciplina.

La validità degli scritti è limitata a un anno solare: la scadenza degli scritti sostenuti nell'anno 2022 (vale a dire fra gennaio e dicembre 2023) è quindi limitata al termine del mese di febbraio 2024.

La prova scritta concorre alla valutazione finale nella misura dell'80%; il restante 20% della valutazione finale è determinato dalla prova orale.

Una frequenza minima del 60% delle lezioni è richiesta agli studenti in corso per l'ammissione all'esame ed è comunque vivamente raccomandata ai fuori corso.

Le date degli esami sono rese note con grande anticipo, e gli studenti si debbono prenotare all'appello mediante il sistema on-line almeno 48 ore prima dell'appello stesso. La mancata osservanza di questa norma comporta l'automatica esclusione dall'appello.

## Testi di riferimento

A.) **Per i contenuti del corso** (A1, A3 e A4 in Inglese, A2 in Italiano):

A-1. S. Timoshenko, J. M. Gere, Theory of Elastic Stability, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill, Auckland, 1963.

A-2. M. Pignataro, N. Rizzi, A. Luongo, Stability, Bifurcation and Postcritical Behaviour of Elastic Structures, Elsevier, Amsterdam, 1991. (Italian Edition: **Luongo, A., Ferretti, M. and Di Nino, S., 2022. Stabilità e biforcazione delle strutture. Sistemi statici e dinamici.** Società Editrice Esculapio.)

A-3 Z. P. Bazant, L. Cedolin, Stability of Structures. Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories., World Scientific Publishing, New Jersey, 2010

A-4 G. J. Simitses, An introduction to the elastic stability of structures. NJ.: Prentice Hall, 1976.

B.) **Per i prerequisite:** (B1, B2 e B4, in Inglese, B3 in Italiano):

B-1 S. Timoshenko, Strength of Materials - Part I: Elementary Theory and Problems, 2nd Edition, van Nostrand: New York, 1940

B-2. S. Timoshenko, Strength of Materials - Part II: Advanced Theory and Problems, 2nd Edition, van Nostrand: New York, 1941

B-3 E. Guagenti et al., Statica – Fondamenti di meccanica strutturale, McGraw-Hill: Milano, 2005. (Physical prerequisites: Chapters 1-3 and Appendices A and D)

B-4 F. P. Beer, E. Russell Johnston, Mechanics of Materials, II Ed (in SI Units), McGraw-Hill: New York, etc., 1992.

## Testi di riferimento

**C.) Per consultazione e approfondimenti (C3 in Italiano, gli altri in Inglese):**

C-1 S. S. Antman, Nonlinear Problems of Elasticity, 2nd Edition, Vol. 107 of Applied Mathematical Sciences, Springer Science+Business Media, New York, 2005

C-2 A. S. Volmir: Stability of deformable systems, NASA AD 628 508, 1965.

C-3 M. Como: Theory of elastic stability (in Italian), Liguori, Napoli, 1967.

C-4 A. E. Green, W. Zerna: Theoretical elasticity, Clarendon Press, Oxford, 1968.

C-5 L. H. Donnell: Beams, plates and shells, McGraw-Hill, New York, 1976.

C-6 J. E. Gordon, Structures: or Why Things Don't Fall Down, Da Capo Press: Cambridge, MA, 1981.

C-7 J. Singer, J. Arbocz, T. Weller, Buckling experiments: Experimental methods in buckling of thin-walled structures: Shells, built-up structures, composites and additional topics. Wiley: New York, 2002.

C-8 M. Levy, M. Salvadori, Why Buildings Fall Down: How Structures Fail, Norton & Company: New York, 1994.

C-9 Shell stability handbook / Ed. by L. A. Samuelson, S. Eggwertz. London: Elsevier Applied Science, 1992.

C-10 Y. B. Fu, R. W. Ogden, Nonlinear stability analysis of pre-stressed elastic bodies // Continuum Mechanics and Thermodynamics. 1999. Vol. 11. P. 141–172



Zhou, Ping & Beeh, Elmar & Kriescher, Michael & Friedrich, Horst & Kopp, Gundolf. (2016). Dynamic bending behaviour of magnesium alloy rectangular thin-wall beams filled with polyurethane foam. *International Journal of Crashworthiness*. 21. 1-17. 10.1080/13588265.2016.1208715.



(a)



(c)



(e)



(g)



(b)



(d)



(f)



(h)





**I Ponte di Tacoma Narrows** (in [inglese](#) *Tacoma Narrows Bridge*) è una struttura realizzata a partire dal 1938 sul canale [Tacoma Narrows](#), nello [stato di Washington](#), unendo le città di [Tacoma](#) e [Gig Harbor](#). Inaugurato nel 1940, per l'epoca fu il terzo [ponte sospeso](#) più lungo del mondo dopo il [Golden Gate Bridge](#) di [San Francisco](#) e il [George Washington Bridge](#) di [New York](#).



Il **Ponte di Tacoma Narrows** (in [inglese](#) *Tacoma Narrows Bridge*) è una struttura realizzata a partire dal 1938 sul canale [Tacoma Narrows](#), nello [stato di Washington](#), unendo le città di [Tacoma](#) e [Gig Harbor](#). Inaugurato nel 1940, per l'epoca fu il terzo [ponte sospeso](#) più lungo del mondo dopo il [Golden Gate Bridge](#) di [San Francisco](#) e il [George Washington Bridge](#) di [New York](#).



Ordinary bridge design



Wind can pass through trusses

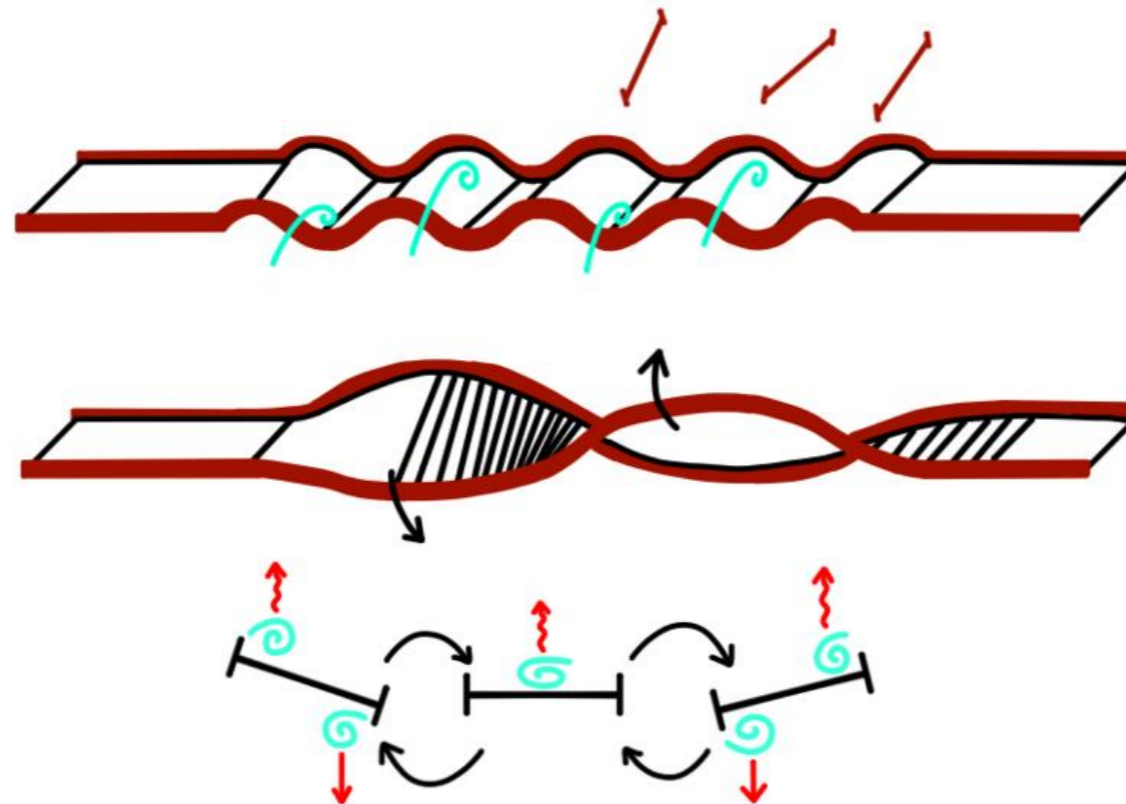
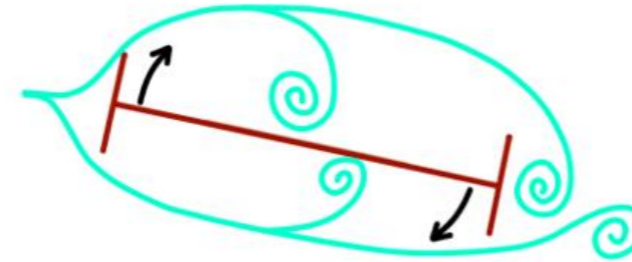
Tacoma Narrows Design



Wind would be forced around trusses



Passing wind forms Kármán vortex street



The day of collapse, wind speeds reached 40 mph  
 As flutter increased, support cables snapped, worsening the gallop.  
 The deck eventually collapsed into the strait after several minutes

Il **Millennium Bridge** è un ponte sospeso pedonale fabbricato in acciaio, che attraversa il fiume Tamigi nella città di Londra, in Inghilterra, unendo la zona di Bankside con la City. Si trova tra il ponte di Southwark e il ponte Blackfriars. Fu il primo ponte pedonale ad attraversare il Tamigi da quando, nel 1894, venne costruito il Tower Bridge. È di proprietà della Bridge House Estates, una fondazione che si occupa anche della manutenzione, guidata dalla City of London Corporation.



Il **Millennium Bridge** è un [ponte sospeso pedonale](#) fabbricato in acciaio, che attraversa il fiume [Tamigi](#) nella città di [Londra](#), in [Inghilterra](#), unendo la zona di [Bankside](#) con la [City](#). Si trova tra il [ponte di Southwark](#) e il [ponte Blackfriars](#). Fu il primo ponte pedonale ad attraversare il Tamigi da quando, nel 1894, venne costruito il [Tower Bridge](#). È di proprietà della Bridge House Estates, una fondazione che si occupa anche della manutenzione, guidata dalla [City of London Corporation](#).

Le prime piccole oscillazioni portavano, o addirittura obbligavano, i pedoni a camminare in maniera sincronizzata con l'oscillazione, creando così un fenomeno di [risonanza](#), che si manifestava anche quando il ponte era poco frequentato, ad esempio all'inizio della giornata. A causa di queste oscillazioni il ponte si guadagnò l'appellativo di *Wobbly Bridge* (ponte instabile).