



ID contributo: 5

Tipo: Presentazione orale

## Un approccio Analitico-Numerico per lo studio del Warping di Tubi e Travi in Parete Sottile a Sezione generica sottoposti a Flessione

mercoledì 3 settembre 2025 09:45 (15 minuti)

Le travi ed i tubi a parete sottile sono componenti fondamentali, ampiamente utilizzati in diversi ambiti dell'ingegneria, tra cui la meccanica, l'aerospaziale, la navale e le costruzioni. Una rilevante applicazione industriale riguarda il trasporto di petrolio, gas e altri fluidi. In tale contesto, risulta essenziale analizzare l'impatto dei carichi operativi o eccezionali, come quelli che si verificano durante l'installazione delle condotte, sulla loro integrità ed affidabilità strutturale.

Generalmente, lo spessore di queste strutture è ridotto al minimo per contenere i costi, il peso e il volume, portando così alla realizzazione di strutture a parete sottile. A causa della loro geometria, i gusci tubolari a parete sottile sono particolarmente suscettibili a deformazioni significative, soprattutto in termini di distorsione della sezione, sotto l'azione di carichi meccanici e termici. Di conseguenza, una comprensione approfondita dei fenomeni che influenzano la loro capacità portante è cruciale, soprattutto per quanto riguarda la deformazione della sezione retta, fenomeno trascurato in strutture più massive.

Tra i vari fenomeni che possono interessare tali componenti, è opportuno considerare il warping associato alla flessione, che determina una deformazione nel piano della sezione. La flessione di un guscio tubolare a spessore sottile comporta una deformazione riconducibile a due meccanismi distinti ma simultanei. Il primo meccanismo è una flessione di tipo trave, descritta dalla deformazione dell'asse. Il secondo è un effetto di tipo guscio, in cui la sezione trasversale si modifica progressivamente all'aumentare del carico applicato. Di conseguenza, il momento d'inerzia della sezione varia gradualmente, tendendo a diminuire se la sezione presenta una forma convessa. Pertanto, la relazione tra momento e curvatura di un guscio tubolare a parete sottile non può essere descritta con una legge lineare, come avviene per i modelli a trave che assumono la sezione come indeformabile, ma segue una dinamica non lineare più complessa. Ciò che accade è che durante l'applicazione del carico si manifestano ampie deformazioni della sezione nel piano, anche in presenza di spostamenti ridotti lungo l'asse longitudinale della struttura, che quindi modificano il momento d'inerzia della sezione.

In questo articolo viene mostrato come, a partire da un modello di guscio non-lineare in grandi spostamenti, si possano scrivere le equazioni che regolano il bilancio energetico del fenomeno in esame. Le equazioni in parola vengono scritte utilizzando un approccio alla geometria intrinseca, così da formulare il problema nella sua forma più generale, valida per tubi e travi in parete sottile di qualsivoglia sezione, sia chiusa che aperta. Le equazioni di bilancio energetico sono utilizzate mediante un approccio che propone l'accoppiamento tra l'utilizzo di modi di deformazione ed il calcolo variazionale. Vengono presentate due strade per l'ottenimento dei modi di deformazione. La prima, puramente numerica, prevede l'utilizzo dei modi di deformazione ottenuti a partire da una discretizzazione agli elementi finiti della sezione del guscio tubolare. Una seconda modalità, più analitica, prevede l'utilizzo di basi di funzioni ortogonali descritte in geometria intrinseca.

I modi di deformazione in parola possono essere utilizzati nel bilancio energetico per ricavare la configurazione ad energia stazionaria. Quest'ultima, fornisce la configurazione della sezione del tubo soggetto a momento flettente. Questa procedura è ripetuta per vari valori del momento flettente, in modo da ricavare un grafico adimensionale che descriva l'andamento non-lineare tra momento applicato e curvatura. Tale grafico evidenzia il punto di picco tra momento e curvatura, fornendo quale sia il punto che rappresenta il collasso da ovalizzazione della sezione. Tale grafico può anche essere utilizzato per formulare modelli non-lineari di tipo pipe monodimensionali che tengano conto della deformabilità della sezione retta.

Vengono quindi presentati diversi casi studio su tubi a sezioni di interesse pratico (circolare, quadrata e rettangolare) ma anche per elementi a sezione aperta. I risultati sono confrontati mediante simulazione agli elementi finiti in pieno dettaglio.

**Autori principali:** IANDIORIO, CHRISTIAN (Università di Roma Tor Vergata); Dr. MILANI, Daniele (Università di Roma Tor Vergata); Prof. SALVINI, Pietro (University of Rome Tor Vergata)

**Relatore:** IANDIORIO, CHRISTIAN (Università di Roma Tor Vergata)

**Classifica Sessioni:** Progettazione Meccanica

**Classificazione della track:** Progettazione Meccanica