

Corso di formazione professionale FAD

Strutture industriali in acciaio: dimensionamento, analisi FEM, progetto e verifica (Terza Edizione)



**23 e 30 gennaio
6, 13, 20 e 27 febbraio
6 marzo 2026
28 ore complessive**

**Relatori: Ing. Leonardo Bandini, Ing. Simone Caffè
Ing. Benedetto Cordova, Ing. Alessandro Desimoni**

Iscriviti qui!

**C
T
A**
**COLLEGIO
DEI TECNICI
DELL'ACCIAIO**

La partecipazione al Corso rilascia 28 CFP

PRESENTAZIONE

Il corso vuole offrire una panoramica completa delle metodologie di **progetto e verifica delle strutture in acciaio**, con particolare riferimento alle **strutture industriali**.

La trattazione si apre (Parte 1) affrontando l'**analisi globale dei telai** e le **verifiche di resistenza e stabilità delle singole membrature** in conformità ai requisiti normativi, con particolare riguardo alle novità introdotte dalla **II^a generazione degli Eurocodici**.

Si prosegue (Parte 2) con il **progetto completo di un pipe-rack**, affrontando tutte le fasi del processo progettuale: dall'ideazione e predimensionamento delle strutture, alla costruzione dei **modelli FEM**, fino alle **analisi strutturali**, al **dimensionamento sismico** (sia in campo elastico che plastico, secondo le regole della gerarchia delle resistenze) e a una sintesi delle **verifiche delle connessioni**, in ambito statico e sismico. Verrà, inoltre, introdotto il tema delle **analisi dinamiche per il controllo delle vibrazioni prodotte dai macchinari**.

La Parte 3, infine, approfondisce nel dettaglio le **tecniche di modellazione e analisi FEM**, sia lineare che non lineare, applicate alle strutture e alle loro membrature. L'obiettivo è quello di mostrare l'analisi agli elementi finiti non più come un semplice strumento per il calcolo delle sollecitazioni da impiegare in processi di verifica esterni, ma come un vero e proprio **metodo di progettazione diretto**, una forma evoluta di **progettazione assistita dall'analisi FEM**. Particolare attenzione è dedicata agli **elementi strutturali a lastra** e all'impiego di approcci **GMNIA** (Geometrically and Materially Nonlinear Analysis with Imperfections), fondamentali per comprendere i **reali meccanismi di instabilità e post-instabilità** delle strutture in acciaio.

Parte 1 – Analisi e dimensionamento delle membrature in acciaio: verifiche di resistenza e stabilità (8 ore)

Il modulo si propone di illustrare le principali analisi strutturali e verifiche di resistenza e stabilità che devono essere eseguite per il dimensionamento delle membrature delle strutture in acciaio, focalizzando l'attenzione sull'analisi del fenomeno fisico, che le sempre più complesse formulazioni normative, talvolta, tendono a non far emergere.

Dopo un ampio excursus normativo e dopo aver introdotto alcuni concetti di base (classificazione delle sezioni e loro capacità resistente), si esaminano i metodi di analisi globale con particolare riguardo allo studio dei telai e agli effetti delle deformazioni e imperfezioni sulla loro stabilità.

Vengono, quindi, affrontate le metodologie per le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature in acciaio ai sensi dell'Eurocodice 3 (EN 1993-1-1 di Ia e IIa generazione), delle NTC 2018 e della Circolare 7/2019, descrivendone criticamente le peculiarità ed evidenziandone le principali differenze comparando i risultati con le verifiche proposte dalle storiche CNR 10011 e dalla versione ENV dell'Eurocodice 3. In questa terza edizione verranno presentate, inoltre, le principali novità dell'EN 1993-1-5 di IIa generazione. Si propone, infine, un esempio di struttura industriale reale analizzata con modelli FEM di diverso dettaglio, con lo scopo di eseguire analisi di buckling finalizzate alle verifiche di stabilità globali e locali.

Parte 2 – Concezione ragionata delle strutture in acciaio con particolare riferimento agli edifici industriali: Ideazione, predimensionamento, modellazione FEM, analisi strutturali, verifiche e dettagli costruttivi di un Pipe Rack soggetto a sisma (13 ore)

Scopo del modulo è fornire spunti e indicazioni per la progettazione delle strutture in acciaio, con particolare riferimento alle sollecitazioni sismiche e con specifico riguardo alle strutture industriali nelle quali, ancora oggi, l'acciaio risulta essere “materiale principe” per prestazioni, facilità di costruzione e modularizzazione.

La progettazione è un processo complesso che comprende l'ideazione, il dimensionamento e la verifica delle strutture, l'impiego di procedure di calcolo semplici (manuali) e complesse (software FEM), la scelta e il dimensionamento dei dettagli costruttivi.

Dopo aver illustrato propedeuticamente, nella Parte 1 del corso, i metodi per la verifica delle singole membrature in acciaio, nella Parte 2 si esaminano le strutture nella loro interezza, focalizzandosi sulla scelta ed analisi della tipologia più idonea per il problema in studio. Questa analisi consente di comprendere come gli sforzi “viaggiano” effettivamente all'interno della struttura, e quindi di dimensionare gli elementi strutturali attraverso calcoli semplici, spesso solamente manuali, spostando ad una fase finale la verifica globale con modelli di calcolo sofisticati e dettagliati, adottando così una strategia di modellazione che va dal semplice al complesso.

Per sensibilizzare i partecipanti al webinar sui temi sopra esposti, verrà illustrato un esempio di progettazione, nell'ambito degli edifici industriali: si parlerà della progettazione di un pipe rack per impianto industriale soggetto alle azioni sismiche, vagliando le due tecniche di progettazione ammesse dalle norme, ovvero la progettazione non dissipativa e quella dissipativa, andando a cogliere i pro e i contro di entrambe le metodologie.

Sulla scorta dell'esempio sopra citato, si vaglieranno i diversi approcci con i quali traggere la modellazione FEM delle strutture in acciaio: analisi lineare del primo ordine, analisi non lineare geometrica (P – Delta), analisi di buckling linearizzata ed infine verrà fatto un accenno riguardo l'analisi statica non lineare (Push-Over).

Si tratterà inoltre, sia pur brevemente, il dimensionamento delle connessioni con il metodo della Gerarchia delle Resistenze: attacchi a momento e connessioni di controventi.

Verranno, infine, mostrate le procedure di analisi dinamiche condotte nel dominio delle frequenze, su un'ipotetica fondazione di un motore elettrico, al fine di sensibilizzare i discenti sulle problematiche inerenti alle vibrazioni prodotte da macchinari installati su skid in acciaio o basamenti in calcestruzzo.

Parte 3 – Analisi lineari e non lineari (8 ore)

Gli elementi finiti hanno quasi 70 anni. Ogni Progettista utilizza modelli ed analisi FEM nel proprio lavoro ogni giorno da decenni. In tutto questo periodo, lo strumento FEM è stato utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni con cui dimensionare le strutture, o parti di esse, mediante processi di verifica separati.

Le formulazioni normative di dimensionamento e verifica negli anni si sono evolute ma, nella maggior parte dei casi, i Progettisti utilizzano analisi lineari al prim'ordine. L'acciaio, come ben noto, è governato dagli effetti d'instabilità e sono così nati strumenti analitici più evoluti. In primo luogo, si sono sviluppate le analisi LBA (analisi lineari elastiche alla biforcazione di equilibrio); ma dal momento che, come noto, le strutture, anche le più semplici, raggiungono il collasso non per un problema di biforcazione ma per una deformazione sotto carico, si è passati all'utilizzo di analisi non lineari geometriche (GNIA).

La trattazione parte da queste ultime, introducendole e mostrandole mediante uno studio congiunto tra NTC/EC e AISC. Ma questo rappresenta il punto di partenza. Complice la nuova generazione degli Eurocodici, per alcune particolari tipologie di strutture (a lastra e a guscio) o per la maggioranza delle connessioni la prassi comune è utilizzare lo strumento FEM non più come mero strumento di calcolo di sollecitazioni, ma come vero e proprio strumento di dimensionamento. La Parte 3 del corso affronta, quindi, il tema della modellazione non lineare meccanica e geometrica con imperfezioni (GMNIA) di queste strutture particolari (travi ad anima piena, travi a cassone, collegamenti...), partendo dall'inquadramento normativo dell'approccio presente su EN 1993-1-5:2024 e EN 1993-1-14:2025 (di recente rilascio) e procedendo con un percorso formativo realizzato ad esempi, che evolvono da casi elementari (semplice piastra compressa) fino allo studio di strutture più complesse. Ogni aspetto viene approfondito: definizione della legge costitutiva del materiale, scelta degli elementi finiti opportuni, della modalità di modellazione, di definizione delle analisi fino ad arrivare all'interpretazione corretta dei risultati.

PROGRAMMA

Parte 1 – Incontro I (venerdì 23 gennaio 2026, 14:00 – 18:00) (Ing. Desimoni)

- Introduzione: quadro normativo di riferimento, caratteristiche del materiale, valutazione della sicurezza
- Analisi strutturale: classificazione delle sezioni, capacità resistente delle sezioni, metodi di analisi globale, richiami di analisi dei telai in acciaio (effetti delle deformazioni e delle imperfezioni, stabilità strutturale dei telai)
- Verifiche di resistenza alle sollecitazioni semplici: trazione, compressione, flessione retta, taglio, torsione
- Verifiche di resistenza alle sollecitazioni composte: flessione e taglio, presso/tenso-flessione retta, presso/tenso-flessione biassiale, interazione tra flessione, taglio e sforzo assiale

Parte 1 – Incontro II (venerdì 30 gennaio 2026, 14:00 – 18:00) (Ing. Desimoni)

- Verifiche di stabilità: aste compresse, travi inflesse, membrature presso-inflesse, metodo generale, elementi strutturali a lastra
- Verifiche di stabilità: esempi di calcolo con confronto critico dei risultati forniti dall'applicazione delle diverse norme
- Utilizzo delle analisi di buckling nella modellazione FEM applicate alle verifiche di stabilità globali e locali

Parte 2 – Incontro I (venerdì 6 febbraio 2026, 14:00 – 18:00)

Introduzione:

- Progettare e verificare strutture in acciaio (Ing. Cordova)
- Tipologia degli elaborati da produrre (Ing. Cordova)

Le strutture industriali in acciaio:

- tipologie strutturali industriali (Ing. Caffè)
- schemi strutturali tipici e metodologie di pre-design (Ing. Cordova)
- comportamento delle strutture in acciaio (Ing. Caffè)

Parte 2 – Incontro II (venerdì 13 febbraio 2026, 14:00 – 18:30)

- Accorgimenti sulla modellazione FEM delle strutture in acciaio (Ing. Caffè)

Il pipe-rack (morfologia strutturale ed esempio di progettazione):

- Dal layout impiantistico allo schema unifilare (Ing. Cordova)
- Esempio di progettazione di un pipe-rack (Ing. Caffè)
- Azioni di progetto e combinazioni di carico (Ing. Caffè)
- Schemi statici per il pipe rack: come transitano le azioni interne (Ing. Cordova)
- Il predimensionamento (Ing. Cordova)

Parte 2 – Incontro III (venerdì 20 febbraio 2026, 14:00 – 18:30)

- Il modello FEM (Ing. Caffè)
- Verifiche in campo elastico vs. capacity design (Ing. Caffè)
- Cenni sull'analisi statica non lineare (Ing. Caffè)

I collegamenti (cenni):

- I collegamenti a taglio (Ing. Cordova)
- I collegamenti progettati in capacità (Ing. Caffè)
- I progetti europei "equaljoints" e "freedom" (Ing. Cordova)
- I collegamenti dei controventi (Ing. Cordova)

Analisi dinamiche per il controllo delle vibrazioni prodotte dai macchinari (Ing. Caffè)

- Definizione delle forze dinamiche
- Le equazioni del moto
- Risposta complessa in frequenza
- Esempio di confronto tra l'analisi manuale ed i risultati del modello FEM

Parte 3 – Incontro I (venerdì 27 febbraio 2026, 14:00 – 18:00) (Ing. Bandini)

- Breve storia degli elementi finiti
- Principi base e differenze tra approcci indiretti ed approcci diretti
- AISC e EC (NTC) nell'utilizzo di analisi non lineari geometriche; GNIA + M3 come metodi di analisi delle strutture in acciaio e metodo di verifica
- EN1993-1-5 e EN1993-1-14 per analisi GMNIA – (Geometrically and Materially Nonlinear Analysis with Imperfections)
- Analisi a controllo di forza vs analisi a controllo di spostamento
- Criteri di capacità in analisi non lineari geometriche e meccaniche; come individuare le biforcazioni dell'equilibrio e gli snap-trough in analisi non lineari
- Semplici esempi passo-passo di GMNIA e confronto con approcci LA, LBA, GNIA

Parte 3 – Incontro II (venerdì 6 marzo 2026, 14:00 – 18:30) (Ing. Bandini)

- GMNIA di nodi e membrature: meccanismi resistenti, interpretazione dei risultati
- L'importanza delle imperfezioni nelle analisi GMNIA. Come definire le imperfezioni in modelli complessi (e reali)
- GMNIA su travi ad anima piena e strutture a lastra
- GMNIA in elementi soggetti a carichi (o deformazione) cicliche.

Per ognuno dei casi si procede ad esempi, alcuni semplici per poterli confrontare con risultati ottenuti da formulazioni normative e procedure manuali, altri più complessi, ottenuti da casi reali di utilizzo di queste procedure come metodi di progettazione.

Alla fine del corso è previsto il test di apprendimento, necessario ai fini del rilascio dei CFP

I RELATORI

Leonardo Bandini, laureato in Ingegneria Civile indirizzo Strutture presso l'Università di Firenze, appassionato di metodologie avanzate di protezione sismica delle strutture e di controllo della risposta dinamica delle stesse, inizia da subito collaborazioni con diverse Università. Dal 2003 collabora con l'Ing. Brunetta per la diffusione, l'assistenza ed il potenziamento dei programmi di calcolo strutturale prodotti dalla CSI America e per le attività di progettazione strutturale. Socio di CSI Italia srl e dello studio associato Brunetta Bandini. Numerose sono le pubblicazioni che lo riguardano, tutte incentrate sul calcolo, la modellazione numerica e le tecniche di protezione sismica; co-autore della monografia dal titolo "Protezione sismica delle strutture" ed edita CISM. Molteplici anche le consulenze presso altri colleghi, tutte incentrate a risolvere problemi di modellazione numerica ed in generale di calcolo di edifici e di ponti protetti sismicamente, mediante sistemi suddetti, o per lo svolgimento di valutazioni sismiche di strutture esistenti. Attualmente membro del Consiglio direttivo del CTA, fa inoltre parte della commissione strutture del GLIS/ANTEL ed è nel coordinamento scientifico della rivista Lo Strutturista.



Simone Caffè si è laureato in Ingegneria Edile presso l'Università degli Studi di Genova. Dal 2003 esercita la libera professione, occupandosi della progettazione di opere civili e infrastrutturali in acciaio e calcestruzzo armato, con particolare riferimento a strutture industriali realizzate per conto di RINA Consulting.

Svolge parallelamente l'attività accademica in qualità di Docente a Contratto presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova, dove è titolare del corso di Progettazione Strutturale con Calcolo Automatico e collabora come assistente al corso di Costruzioni in Acciaio e Miste Acciaio – Calcestruzzo.

È autore del volume ACCIAIO, pubblicato dalla casa editrice Grafill, e membro della commissione UNI/CT 021/ SC03 “Strutture di acciaio”. Attualmente fa parte del Consiglio Direttivo del CTA e del coordinamento scientifico della rivista Lo Strutturista.



Benedetto Cordova si è laureato in Ingegneria Civile Edile presso il Politecnico di Milano nel 1974. Ha lavorato presso la SAE – Società Anonima Elettificazione, quindi presso ENEL – Ingegneria e Innovazione, ove si è occupato della progettazione civile delle centrali nucleari e, in tempi più recenti, della progettazione e gestione delle commesse di carpenteria metallica relativamente alle strutture in acciaio delle centrali elettriche. È docente in corsi di aggiornamento relativi alle strutture metalliche. È stato membro del Consiglio direttivo del CTA e si occupa della redazione della rivista Costruzioni Metalliche.



Alessandro Desimoni, laureato in Ingegneria Civile indirizzo Strutture presso l'Università di Genova, esercita dal 2003 la libera professione, occupandosi di progettazione di opere civili e infrastrutturali in acciaio, calcestruzzo armato e composte acciaio-calcestruzzo, con particolare riguardo alla modellazione FEM e alle analisi dinamiche e non lineari. Si occupa, inoltre, di studi di vulnerabilità sismica di edifici esistenti in calcestruzzo armato e in acciaio. È docente in corsi di aggiornamento professionale nel campo delle strutture in acciaio, composte acciaio-calcestruzzo e del Metodo agli Elementi Finiti. È stato collaboratore del corso di Costruzioni Speciali presso l'Università di Genova relativamente al tema delle Strutture Composte Acciaio-Calcestruzzo. È attualmente membro del Consiglio direttivo del CTA e membro della commissione UNI/CT 021/ SC04 “Strutture composte acciaio-calcestruzzo”.

