



PERCORSO ENTI LOCALI

Tecnica delle Costruzioni: Aspetti tecnici strutturali

Introduzione

Benvenuti!

In questa video lezione parleremo sinteticamente degli aspetti tecnici strutturali. Gli obiettivi che ci poniamo sono:

- conoscere i principi fondamentali **del calcolo strutturale**
- comprendere i criteri di verifica applicati alle **strutture in calcestruzzo**
- comprendere i criteri di verifica applicati alle **strutture in acciaio**

Nel corso della lezione affronteremo alcuni criteri e principi cardine utili a comprendere meglio l'argomento, quali:

- i principi ed aspetti fondamentali per il calcolo strutturale
- un'illustrazione sintetica degli aspetti relativi al calcolo delle Strutture in calcestruzzo
- analogamente una sintesi degli aspetti relativi al calcolo delle Strutture in acciaio

Principi fondamentali di calcolo

Cominciamo con il tema fondamentale per la Tecnica delle costruzioni, ovvero la Sicurezza. Le opere e le loro componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne il loro pieno utilizzo, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza stabilito dalle norme. La modellazione (che può essere lineare o non lineare) va condotta agli "elementi finiti", in cui vengono inserite tutte le caratteristiche meccaniche dei materiali.

Un altro principio della tecnica delle costruzioni da perseguire è la durabilità, definita come la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture. È da intendersi come una proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera e deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione. Sulla scorta di ciò, i prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccaniche e non, oltre che dotati di idonea qualificazione.

Importanza rilevante assume la scelta dei materiali e dei prodotti che devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione, definite nelle parti specifiche dalle norme tecniche del settore. La fornitura di componenti, sistemi o prodotti, impiegati per fini strutturali, deve essere accompagnata da uno specifico manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell'opera. I componenti, sistemi e prodotti, siano essi edili od impiantistici, pur non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma, devono essere progettati ed installati nel rispetto dei livelli di sicurezza.

In tema di verifiche di sicurezza, si segnala che le opere strutturali devono essere verificate per gli stati limite ultimi e stati limite di esercizio. I primi possono presentarsi in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni, mentre gli altri vengono definiti in relazione alle prestazioni attese. Le verifiche di sicurezza di tutte le componenti delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con specifico riferimento alle normative, che prescrivono determinate caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

Può essere utile per comprendere tale aspetto fare riferimento ad una relazione di calcolo: questo elaborato è correlato e parte integrante degli elaborati grafici che illustrano i particolari costruttivi dell'opera. Deve contenere:

- Una descrizione generale dell'opera, riportare cioè la tipologia, definire l'ambito territoriale, le caratteristiche e specifiche tecniche dell'opera e opportune considerazioni sul progetto
- Le caratteristiche dei materiali, cioè descrivere le tipologie dei materiali adottati, le relative caratteristiche meccaniche, facendo riferimento ad indagini e prove di laboratorio
- I codici di calcolo adottati, vale a dire il software utilizzato, le motivazioni di tale scelta e il grado di affidabilità di tale software di calcolo, specificando i dati di ingresso e le relative elaborazioni, con esplicitazione dei risultati ottenuti
- Le analisi dei carichi agenti, e cioè il peso proprio della struttura, i carichi permanenti ed accidentali, le azioni variabili e le relative considerazioni
- Le combinazioni di carico che si sono effettuate
- Un capitolo dedicato alle analisi sismiche (che vedremo successivamente)
- L'analisi del comportamento della struttura, cioè occorre un riferimento alle differenti fasi, alle verifiche di sollecitazione dei singoli elementi con un capitolo dedicato all'output dei risultati
- Ulteriori verifiche non previste, quali ad esempio l'analisi di spinta, spostamenti, scorrimento, ribaltamento, e non in ultimo considerazioni sull'interazione col terreno
- Dettagli costruttivi, che poi saranno rimandati agli elaborati grafici

Nella relazione di calcolo è imprescindibile l'ausilio di schemi e tabelle utilizzati per la modellazione. Ad esempio per far riferimento alle diverse strutture, ai carichi o fenomeni quali il ritiro, la temperatura, e similari.

Come anticipato, un capitolo deve essere dedicato all'analisi sismica. Sulla scorta dei dati presenti in rete si effettua una specifica analisi territoriale, individuando la pericolosità del sito (a mezzo di coordinate geografiche), per poi passare all'impostazione delle caratteristiche di progetto (in termini di vita nominale, classe d'uso, periodi di riferimento e di ritorno delle strutture). Si ottiene così per la modellazione lo spettro di risposta ed i parametri sismici per le dovute verifiche e successivamente si effettua un'analisi globale della struttura, sempre con modellazione agli elementi finiti, in cui le verifiche si concentrano alle sollecitazioni su alcune sezioni significative. Tutte le verifiche ed analisi effettuate devono essere esplicitate riportando gli output del calcolo, anche per poter essere controllate rapidamente: si riportano solitamente le sollecitazioni agenti sulle sezioni più significative, suddivise in base alle diverse fasi ed espresse in kN/m.

Le Strutture in calcestruzzo

Per quanto concerne le tipologie di strutture, sicuramente le più utilizzate per svariati motivi sono le strutture in calcestruzzo. Queste si dividono in:

- Calcestruzzo armato (in gergo "cemento armato")
- Calcestruzzo armato precompresso (c.a.p.)
- Calcestruzzo a bassa percentuale di armatura

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in Mpa. Diamo così un significato ai codici previsti per le classi di calcestruzzo, quali ad esempio dal C8/10, C25/30, C28/35, fino al C90/105. Queste classi di resistenza caratteristica e tutte le grandezze meccaniche e fisiche, che hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato cementizio, devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione (preventiva) e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità. Ovviamente, in base alla destinazione della struttura, la norma identifica una classe di resistenza minima da adottare.

La valutazione della sicurezza va condotta sugli effetti delle azioni nelle strutture, adottando rispettivamente i metodi seguenti:

- analisi elastica lineare

- analisi plastica
- analisi non lineare

Inoltre, si possono condurre analisi globali, che hanno lo scopo di stabilire la distribuzione:

- delle forze interne
- delle tensioni
- delle deformazioni
- e degli spostamenti nell'intera struttura o in una parte di essa

Mentre le analisi locali sono necessarie nelle zone singolari, quali:

- in prossimità degli appoggi
- in corrispondenza di carichi concentrati
- nei punti di intersezione travi-colonne o nelle zone di ancoraggio/variazione di sezione

In riferimento alla normativa cogente si effettuano le verifiche allo Stato limite Ultimi, quali:

- Verifica a Compressione del calcestruzzo
- Verifica a Trazione del calcestruzzo
- Verifica della tensione di snervamento dell'acciaio
- Verifica della tensione di aderenza acciaio-calcestruzzo
- Verifica dello sforzo Normale e flessione (per gli elementi monodimensionali)
- Verifica delle sollecitazioni a Taglio
- Verifica delle sollecitazioni a momento torcente
- Verifica delle sollecitazioni composte

Inoltre, si effettuano puntuali verifiche nei nodi, nelle zone diffuse e per gli elementi tozzi.

Sempre in riferimento ai dettami normativi vanno effettuate le verifiche allo Stato limite di Esercizio (SLE), quali:

- verifiche di deformabilità
- verifiche delle vibrazioni
- verifiche di fessurazione (in particolare relativa alla corrosione)
- verifiche delle tensioni di esercizio
- verifiche a fatica (per eventuali danni che possano compromettere la durabilità dell'opera)

Si aggiungono ulteriori verifiche per situazioni transitorie (durante le fasi di costruzione), oppure per situazioni eccezionali.

Terminate le verifiche si forniscono indicazioni applicative sui dettagli costruttivi, necessarie per l'ottenimento delle prestazioni (se non in contrasto con restrittive regole delle costruzioni in zona sismica). Queste riguardano essenzialmente:

- Armatura delle travi
- Armatura dei pilastri
- Copriferro e interferro (al fine della protezione delle armature dalla corrosione, cioè va previsto un adeguato ricoprimento di calcestruzzo, in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature)
- Ancoraggio delle barre e loro giunzioni

In tema di armatura del calcestruzzo particolare importanza è rivestita dalle barre di acciaio, solitamente ad aderenza migliorata (in superficie presentano corrugamenti, alette, sporgenze a spirale). Per le costruzioni l'acciaio che si utilizza è denominato "B450C", valore che riporta la tensione di snervamento di 450 MPa (mentre la resistenza a rottura risulta pari a 540 MPa). Vengono utilizzate, inoltre, reti elettrosaldate e tralicci (reticolari).

I sistemi di precompressione con armature si suddividono in due tipologie:

- 1) a cavi scorrevoli ancorati alle estremità (sistemi post-tesi)
- 2) e a cavi aderenti (sistemi pre-tesi)

La condizione di carico conseguente alla precompressione si combinerà con le altre (peso proprio, carichi permanenti e variabili) al fine di avere le più sfavorevoli condizioni di sollecitazione. Altre specifiche sono previste per i prodotti prefabbricati. Si rimanda a specifici riferimenti per calcestruzzi con aggregati leggeri (minerali, artificiali e similari).

Le Strutture in acciaio

Gli acciai (composti da leghe di ferro e carbonio) di uso generale sono laminati a caldo in profilati, barre, larghi piatti, lamiere e profilati cavi (anche tubi saldati provenienti da nastri laminati a caldo). Devono appartenere ai gradi da S235 ad S460 compresi e le loro caratteristiche devono essere conformi ai requisiti di norma. Le caratteristiche principali riguardano:

- tensione di snervamento
- tensione di rottura
- allungamento a rottura
- resilienza

Tra le tipologie, i profilati di uso più frequente si distinguono in:

- **A doppio T**, di cui gli IPE (ali medie e parallele), HEA/B/M (ad ali larghe), IPN (ali strette e rastremate)
- **A forma aperta di L - C - Z**
- **A sezione cava** (circolare, quadrata, rettangolare)

Per tutti si possono adottare come valori caratteristici:

- Modulo elastico (long.) $E = 206.000 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico (tang.) $G = 78.400 \text{ N/mm}^2$

A differenza delle strutture in calcestruzzo, per tali tipologie risultano fondamentali i procedimenti relativi a:

- Saldature
- Bullonature
- Chiodature

I requisiti richiesti di resistenza, funzionalità, durabilità e robustezza si garantiscono verificando il rispetto degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE) della struttura. Questi si distinguono in:

- stati limite di equilibrio, collasso, fatica (SLU)
- e di deformazione, vibrazione, plasticizzazione e scorrimento ad attrito (SLE)

Inoltre, nell'analisi globale della struttura, in quella dei sistemi di controvento e nel calcolo delle membrature si deve tener conto delle imperfezioni geometriche e strutturali.

Un aspetto basilare nel calcolo è la classificazione delle sezioni. Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale in:

- **Classe 1** (in grado di sviluppare cerniera plastica)
- **Classe 2** (in grado di sviluppare solo momento resistente)
- **Classe 3** (se possono raggiungere tensione di snervamento, ma viene impedito il momento plastico)
- **Classe 4** (tener conto degli effetti dell'instabilità locale)

Si definiscono in classi compatte (1,2), moderate (3) e snelle (4).

La capacità resistente delle sezioni deve essere valutata nei confronti delle sollecitazioni di trazione o compressione, flessione, taglio e torsione. L'analisi globale della struttura può essere condotta con metodi rispettivamente di tipo elastico, plastico o elasto-plastico.

Si valutano, inoltre, gli effetti delle deformazioni e delle imperfezioni. I criteri di verifica sono analoghi a quanto previsto per il calcestruzzo. Vanno, inoltre, condotte specifiche verifiche relative a:

- Fragilità alle basse temperature
- Snellezza (lunghezza d'inflexione)
- Resistenza di cavi, barre, funi e apparecchi d'appoggio
- Spostamenti verticali e laterali

Particolare attenzione va posta alle Unioni, che sono da considerarsi parti costituenti i collegamenti strutturali tra le membrature in acciaio. Queste si distinguono in “precaricate” e “non precaricate”. In particolare per le saldature esistono diverse tipologie:

- A piena penetrazione
- A parziale penetrazione
- A cordoni d'angolo

Conclusioni

Bene, siamo giunti alla fine di questa video lezione, durante la quale abbiamo percorso, seppur sinteticamente, molti degli aspetti tecnici e dei più importanti riferimenti normativi che disciplinano la progettazione strutturale.

È importante sottolineare che la modellazione, sia essa lineare o non lineare, va condotta agli elementi finiti, riportando nel modello di calcolo tutte le caratteristiche dei materiali. Le verifiche strutturali sono riferite agli Stati limite ultimo e di Esercizio e vanno esplicitate in Relazione tecnica, documento che deve essere chiaro ed esaustivo per le analisi effettuate. Sia per le strutture in calcestruzzo, che in acciaio, particolare attenzione va data ai dettagli costruttivi.

Grazie e buon lavoro.