

Cap. 3, par. 1 e 2, aggiornati nel nov. 2005

Capitolo 3

NORMATIVA

1. Normativa tecnica: prescrittiva o prestazionale?

“Le regole servono a chi non sa regolarsi”. Ho sentito citare più volte questa frase, attribuita di volta in volta a differenti personaggi, tutti autorevoli, e non saprei a chi darne realmente la paternità. Come ogni frase presa a se stante, si presta a numerose interpretazioni, anche contrastanti. A me piace citarla per ricordare che la responsabilità di un progetto è sempre del singolo ingegnere e ciò che è veramente importante è la sua capacità di affrontare e risolvere un problema con la sua testa. Con ciò non intendo dire che le norme non contano. Ritengo anzi che la normativa debba essere vista come una guida autorevole, da prendere sempre in considerazione. Essa però non deve mai essere accettata in maniera acritica: per fare un buon progetto non è sufficiente rispettarla alla lettera, ma occorre a volte integrarla e interpretarla; inoltre ogni norma contiene anche prescrizioni prive di validità generale, la cui applicazione può essere a volte inutile.

Non tutti concordano con questa mia visione della norma. In particolare, le norme tecniche italiane erano considerate *prescrittive*, perché l'interpretazione più comune era che tutte le prescrizioni in esse contenute, anche se semplici regole applicative, dovessero considerarsi cogenti, cioè da rispettare obbligatoriamente, fin nei dettagli. La frase che ho citato all'inizio può forse essere vista anche come un segno di insofferenza nei confronti di una impostazione tanto restrittiva.

Le norme tecniche europee, ovvero i cosiddetti Eurocodici, sono state invece concepite con una impostazione *prestazionale*, che privilegia gli obiettivi da conseguire. In esse vi è una chiara distinzione tra *principi*, cioè affermazioni generali, requisiti e modelli analitici per i quali non è ammessa alternativa, e *regole di applicazione*, che hanno più un carattere orientativo e possono essere sostituite da altre, che consentano di raggiungere gli stessi obiettivi.

Il dibattito – norma prescrittiva o norma prestazionale? – è diventato particolarmente vivo in Italia negli ultimi anni. Nel 2003 è stata introdotta una nuova norma sismica, chiaramente ispirata a quella europea e sbandierata come “la prima norma prestazionale italiana”. Quasi in risposta a ciò le nuove norme tecniche per le costruzioni, del 2005, ricordano nel preambolo che già nel 1907 la normativa italiana, introducendo per la prima volta il metodo delle tensioni ammissibili, sostituiva alle regole costruttive del passato un obiettivo prestazionale, individuato dai livelli di tensione nella struttura.

In verità il confine tra prescrizioni e richieste prestazionali è a volte fin troppo sottile. Credo sia innegabile che, fino alle recenti rivoluzioni normative, l'impianto legislativo italiano fosse prevalentemente prescrittivo. Ma è anche vero che la netta distinzione tra principi e regole applicative, auspicata dalle norme prestazionali, è solo un desiderio difficilmente realizzabile. La norma sismica del 2003 non mette in evidenza quali siano gli uni e quali le altre, lasciando libera interpretazione a chi dovrà applicarla (e chissà quanti strascichi giuridici ne conseguiranno). Le norme tecniche europee, invece, classificano in maniera puntigliosa nell'una o nell'altra categoria i singoli punti di ogni norma, ma la classificazione fatta non è del tutto esente da critiche.

1.1. Normativa italiana

La conoscenza dello sviluppo normativo dai primi del novecento ad oggi può avere notevole importanza per tutti i professionisti, ma in particolare per chi che affronta il problema della ristrutturazione e della messa in sicurezza di strutture esistenti. Infatti, anche se le indagini in opera, il prelievo di materiali e le prove su campioni forniscono indicazioni importanti, per conoscere a fondo una struttura esistente occorrerebbe

smantellarla completamente. Una buona conoscenza della prassi costruttiva e delle norme vigenti all'epoca della costruzione fornisce quindi informazioni importanti, che chiariscono i risultati delle prove sperimentali o, meglio ancora, costituiscono una guida preliminare per la definizione di un piano di indagine. Non è però possibile approfondire questo argomento nel presente libro. Mi limiterò quindi a ricordare che i due capisaldi tecnici, che hanno regolato le costruzioni fino all'inizio degli anni '70 del secolo scorso, sono:

- R.D. 10/1/1907: Norme e condizioni per i materiali agglomerati idraulici e per le opere in cemento armato, che per primo impose calcoli statici per dimostrare il raggiungimento della sicurezza nelle costruzioni, come rispetto di assegnate tensioni nei materiali.
- R.D. 16/11/1939 n. 2229: Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato, che tra l'altro introduceva il processo di controllo ed approvazione dei calcoli statici e del progetto da parte del Genio Civile e della Prefettura.

Negli anni '70, l'evoluzione tecnico-scientifica ha portato all'emanazione di due leggi, che ancora regolamentano nelle linee generali l'attuale normativa italiana:

- Legge 5/11/71 n.1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 2/2/74 n.64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Queste leggi definiscono i principi generali e affidano al ministero dei lavori pubblici il compito di emettere periodicamente decreti ministeriali contenenti indicazioni più specifiche.

Gli ultimi decreti emessi alla fine del XX secolo sulla base delle indicazioni della legge 1086 sono:

- D.M. 14/2/92: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. 9/1/96: Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche.

Il decreto del 96 ha sostituito il precedente, che però è rimasto valido per la parte che riguarda le verifiche col metodo delle tensioni ammissibili. Esso inoltre ha consentito l'uso degli Eurocodici 2 e 3.

Sulla base delle indicazioni della legge 64 sono stati emessi i seguenti decreti:

- D.M. 16/1/96: Norme tecniche relative ai “criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”;
- D.M. 16/1/96: Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

A tali norme si affiancano documenti preparati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istruzioni CNR) che sono solo orientativi e non hanno valore di normativa, anche se in qualche caso i decreti ministeriali fanno espressamente riferimento ad essi. In particolare:

- CNR 10011/96: Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione;
- CNR 10022/84: Costruzioni di profilati di acciaio formati a freddo. Istruzioni per l'impiego;
- CNR 10024/86: Analisi mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

In definitiva, per quanto riguarda i metodi di verifica strutturale la normativa italiana consentiva, e consente ancora fino all'aprile 2007, queste tre possibilità:

- metodo delle tensioni ammissibili, regolato dal D.M. 14/2/92;
- metodo degli stati limite, regolato dal D.M. 9/1/96;
- metodo degli stati limite, regolato dagli Eurocodici 2 e 3, con i parametri fissati dal D.M. 9/1/96.

La tendenza normativa è però chiaramente orientata verso un completo recepimento degli Eurocodici. Ciò è stato sottolineato da una recente norma, che ha suscitato un ampio dibattito, sia per il contenuto che per il fatto di essere stata emessa senza seguire l'iter tradizionale. Si tratta infatti di una ordinanza del presidente del consiglio dei ministri:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20/3/03: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Essa contiene innanzitutto i “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone” che, introducendo una quarta zona a bassa sismicità, estendono di fatto a tutto il territorio nazionale l'obbligo di rispettare la normativa sismica. Essa poi contiene “Norme tecniche per il pro-

getto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", "Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti", "Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni" che ricalcano la normativa sismica europea (Eurocodice 8), basata sul metodo degli stati limite. Le norme tecniche relative ad edifici e ponti sono state successivamente aggiornate con l'O.P.C.M. n. 3431 del 3/5/05.

L'utilizzo di una ordinanza del presidente del consiglio dei ministri, anche se motivata da esigenze di protezione civile, è stato fortemente criticato, perché non basato sulle leggi 1086 e 64. Per rispondere a questo conflitto di competenze, la legge 17/7/04 n. 186 ha ribadito che è compito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (ex Ministero dei Lavori Pubblici) emanare i decreti tecnici, redatti dal Consiglio superiore dei lavori pubblici, ma ha previsto che ciò sia fatto di concerto con il Dipartimento della protezione civile.

Su tale base è stato emanato un nuovo decreto:

– D.M. 14/9/05: Norme tecniche per le costruzioni.

Questo testo, alquanto voluminoso (quasi 400 pagine), si propone di riorganizzare in maniera sistematica tutte le norme citate in precedenza e di fornire un riferimento normativo coerente, chiaro ed improntato ai più moderni indirizzi prestazionali piuttosto che prescrittivi. Entrato in vigore nell'ottobre 2005, esso affianca per 18 mesi le norme preesistenti, per sostituirle definitivamente nell'aprile 2007.

Anche in questo caso il dibattito è stato ampio, specie nel mondo accademico, e c'è chi ha visto (o sperava di vedere) in questa norma un ritorno al passato, in contrapposizione alle norme europee. Ma è indiscutibile che, nonostante qualche differenza rispetto agli Eurocodici, essa ribadisce la centralità del metodo degli stati limite nella verifica della sicurezza delle costruzioni. Il metodo delle tensioni ammissibili (ribattezzato "verifiche alle tensioni") non scompare del tutto, ma il suo uso è limitato al caso di edifici ordinari ("opere della Classe 1") realizzati con "materiali con modesto comportamento plastico" e soggetti ad "azioni che si accrescano linearmente". Da queste condizioni risulta evidente come esso non sia più applicabile in zona sismica, poiché è noto che la progettazione sismica e le azioni con le quali si simula l'evento sismico si basano sul presupposto di forti plasticizzazioni della struttura.

1.2. Normativa europea

Col procedere dell'unificazione europea si è sentito il bisogno di norme tecniche che guidassero i progettisti strutturali in maniera unica in tutti i paesi dell'Unione Europea. Sono così nati gli Eurocodici, che stanno man mano affiancando le normative nazionali, con l'obiettivo di sostituirle del tutto. Sono pronti, o in fase di completamento, una norma generale, che fissa criteri di base, e nove norme relative ai diversi materiali o problemi strutturali:

- EN 1990: Basi della progettazione strutturale;
- EN 1991, Eurocodice 1: Azioni sulle strutture;
- EN 1992, Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo;
- EN 1993, Eurocodice 3, Progettazione delle strutture di acciaio;
- EN 1994, Eurocodice 4, Progettazione di strutture miste acciaio-calcestruzzo;
- EN 1995, Eurocodice 5, Progettazione di strutture in legno;
- EN 1996, Eurocodice 6, Progettazione di strutture in muratura;
- EN 1997, Eurocodice 7, Progettazione geotecnica;
- EN 1998, Eurocodice 8, Progettazione di strutture in zona sismica;
- EN 1999, Eurocodice 9, Progettazione di strutture in alluminio.

Queste norme sono ancora nella fase ENV (norme europee provvisorie) ma stanno ormai per diventare norme definitive. Esse dovranno venire recepite dai governi dei singoli stati membri dell'Unione Europea, che nel farlo devono integrarle con documento di applicazione nazionale (NAD, National Application Document).

In Italia sono state recepite, al momento, solo la parte 1.1 dell'Eurocodice 2 e dell'Eurocodice 3 (Regole generali e regole per gli edifici). Il D.M. 9/1/96 indica infatti, espressamente, che è possibile utilizzarle e contiene i relativi NAD come sezione III della parte I e della parte II.

2. Panoramica delle principali normative.

2.1. Decreto Ministeriale 9/1/96

Il decreto è stato pubblicato sul supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n.29 del 5/2/96. Esso è organizzato nel modo seguente:

Decreto

contiene le formule di rito di approvazione delle norme tecniche riportate in allegato;

nell'art.1 specifica che è ammesso l'uso del metodo degli stati limite, del metodo delle tensioni ammissibili (secondo le indicazioni del D.M. 14/2/92) e delle norme europee sperimentali Eurocodice 2, parte 1-1 ed Eurocodice 3, parte 1-1;

nell'art.2 impone che il progettista adotti in maniera unitaria ed integrale uno (e uno solo) dei metodi citati.

Parte generale

contiene le considerazioni generali, comuni al cemento armato e all'acciaio; rinvia al D.M. 14/2/92 per quanto riguarda il metodo delle tensioni ammissibili;

fornisce indicazioni sulle combinazioni delle azioni da considerare per le verifiche agli stati limite ultimi ed agli stati limite di esercizio.

Parte I. Cemento armato normale e precompresso

Simbologia

Sezione I. Prescrizioni generali e comuni

fornisce indicazioni su calcestruzzo (par. 2.1), acciaio da cemento armato normale (par. 2.2) e acciaio da cemento armato precompresso (par. 2.3), nonché prescrizioni sul collaudo statico (par. 3).

Sezione II. Calcolo ed esecuzione

fornisce indicazioni sui metodi per il calcolo delle sollecitazioni (par. 4.1), sulle verifiche allo stato limite ultimo (par. 4.2) e sulle verifiche allo stato limite di esercizio (par. 4.3);

contiene inoltre regole pratiche di progettazione (par. 5), norme di esecuzione (par. 6) e norme complementari relative ai solai (par. 7).

Sezione III. Eurocodice 2

costituisce il Documento di Applicazione Nazionale (o NAD, *National Application Document*) dell'Eurocodice 2 e contiene le prescrizioni sostitutive, integrative o soppressive da applicare nell'utilizzare tale normativa in Italia.

Parte II. Acciaio

Simbologia

Sezione I. Prescrizioni generali e comuni

fornisce indicazioni sull'acciaio (par. 2.1-2.3), sulle saldature (par. 2.4), su bulloni e chiodi (par. 2.5-2.7), nonché prescrizioni sul collaudo statico (par. 3).

Sezione II. Calcolo ed esecuzione

fornisce tra l'altro indicazioni sugli stati limite (par. 4.0), sul materiale base (par. 4.1), sulle unioni con bulloni e chiodi (par. 4.2-4.4), sulle unioni saldate (4.5);

contiene inoltre norme di calcolo relative alla verifica di stabilità (par. 5), indicazioni sulle prove su strutture e modelli (par. 6) e regole pratiche di progettazione e di esecuzione (par. 7).

Sezione III. Eurocodice 3

contiene le prescrizioni sostitutive, integrative o soppressive da applicare nell'utilizzazione dell'Eurocodice 3.

*Parte III. Manufatti prefabbricati prodotti in serie**Parte IV. Costruzioni composte da elementi in metallo diversi dall'acciaio**Parte V. Norme per travi composte "acciaio-calcestruzzo"**Allegati 1-7*

prescrivono i controlli da effettuare sui diversi materiali.

2.2. Decreto Ministeriale 14/9/05

Il decreto è stato pubblicato sul supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n.222 del 23/9/05. Esso è organizzato nel modo seguente:

Decreto

contiene le formule di rito di approvazione delle norme tecniche riportate in allegato; prevede anche l'istituzione di una commissione consultiva per il monitoraggio delle norme, anche al fine della prevista revisione periodica biennale delle norme stesse.

Cap. 1. Preambolo

riporta una premessa storica ed una sintesi del contenuto delle norme.

Cap. 2. Sicurezza, prestazioni attese, azioni sulle costruzioni

definisce i principi fondamentali per la valutazione della sicurezza e per l'identificazione delle prestazioni delle strutture; interessanti innovazioni sono l'introduzione del principio di vita utile di progetto delle opere e la definizione di due classi di opere, differenziate da una diversa vita utile e quindi con differenti condizioni di cimento statico.

Cap. 3. Azioni ambientali e naturali

codifica i modelli per la descrizione delle azioni sismica, del vento, della temperatura, della neve.

Cap. 4. Azioni accidentali

codifica i modelli per la descrizione delle azioni denominate “accidentali”, cioè di quegli eventi, legati all’attività umana, usualmente definiti come incidenti (incendio, esplosioni, urti);

si noti che il termine usato deriva dalla trasposizione in italiano della parola inglese *accidental*, che indica espressamente il riferimento ad incidenti; in Italia il termine “accidentale” era invece utilizzato nel passato per indicare quelli che ora sono denominati “carichi variabili”; questa modifica di significato del termine potrebbe dar luogo a qualche equivoco.

Cap. 5. Norme sulle costruzioni

riporta i criteri generali per calcolare la resistenza e la sicurezza degli elementi strutturali, distinti in base al materiale costruttivo (conglomerato cementizio, acciaio, legno, muratura, altri materiali), nonché per elementi composti da due materiali;

fornisce anche prescrizioni particolari per la progettazione in presenza di azioni sismiche.

Cap. 6. Azioni antropiche

codifica i modelli per la descrizione delle azioni legate all’azione dell’uomo, permanenti e variabili, separatamente per opere civili e industriali, opere stradali, opere ferroviarie.

Cap. 7. Norme per le opere interagenti con i terreni e con le rocce, per gli interventi nei terreni e per la sicurezza dei pendii

definisce le varie fasi in cui è articolato il progetto di opere interagenti col terreno, introducendo anche per i terreni la valutazione della sicurezza in termini di stati limite;

fornisce anche prescrizioni aggiuntive che devono essere rispettate per valutare gli effetti dell’azione sismica.

Cap. 8. Collaudo statico

codifica i metodi e le procedure per il giudizio dell’opera costruita e per la valutazione sperimentale della sicurezza, indispensabile per certificare che le prestazioni e la sicurezza dell’opera costruita corrispondano alle specifiche di progetto e contrattuali.

Cap. 9. Costruzioni esistenti

individua i criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni realizzate prima dell’entrata in vigore della norma, nonché per il progetto di interventi ed il collaudo, distinguendo tra interventi di consolidamento e di riparazione, interventi di adeguamento e di miglioramento.

Cap. 10. Norme per la redazione dei progetti esecutivi

individua i diversi elaborati di cui deve essere costituito il progetto, fornendo specifiche indicazioni sulla redazione della relazione generale e della relazione di calcolo, sulla presentazione dei risultati;

in particolare, vengono forniti precisi suggerimenti relativi all’uso di codici di calcolo (scelta e validazione del codice di calcolo, valutazione dell’elaborazione dal punto di vista numerico, giudizio motivato di accettabilità dei risultati).

Cap. 11. Materiali e prodotti per uso strutturale

detta norme su regole di qualificazione, certificazione ed accettazione dei materiali e prodotti per uso strutturale, rese coerenti con le principali disposizioni comunitarie in materia.

Cap. 12. Referenze tecniche essenziali

il carattere prestazionale della norma fa sì che in essa non siano riportate formule per il progetto o la verifica degli elementi strutturali; per applicare la norma occorre quindi fare riferimento ad indicazioni più specifiche, riportate in testi come quelli citati nel capitolo (norme internazionali, istruzioni CNR, ecc.), ma anche, in maniera più generale, in testi tecnici dotati di sufficiente autorevolezza.

2.3. Eurocodice 2 (ENV, 1993)

L’Eurocodice 2, parte 1-1, è stato approvato dal Comitato europeo di normalizzazione (CEN) nel dicembre 1991 come norma europea provvisoria (ENV). La traduzione ufficiale italiana è stata pubblicata nel gennaio 1993 dall’UNI (ente italiano di unificazione).

Il già citato D.M. 9/1/96 autorizza l’uso di tale norma e fornisce specifiche prescrizioni integrative, sostitutive e soppressive delle indicazioni contenute nell’Eurocodice stesso; la parte I, sezione III, del decreto costituisce il Documento di Applicazione Nazionale (NAD) previsto dal Comitato europeo di normalizzazione. L’Eurocodice 2 è organizzato nel seguente modo:

Cap. 1. Introduzione

indica lo scopo dell’Eurocodice e riporta la simbologia.

Cap. 2. Basi del progetto

riporta i requisiti fondamentali (punto 2.1), le definizioni generali relative a stati limite, azioni e proprietà dei materiali (punto 2.2), le combinazioni di carico da usare per verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di e-

esercizio (punto 2.3), indicazioni sulla schematizzazione della struttura e sui metodi di analisi (punto 2.5).

Cap. 3. Proprietà dei materiali

fornisce indicazioni sul calcestruzzo (punto 3.1), sugli acciai per armature (punto 3.2), sugli acciai per precompressione (punto 3.3) e sui dispositivi di precompressione (punto 3.4); l'intero capitolo è sostituito dai punti 2.1, 2.2, 2.3 e 4.3.4.1 del D.M. 9/1/96.

Cap. 4. Progetto delle sezioni e degli elementi

fornisce indicazioni sui requisiti di durabilità (punto 4.1), riporta i dati di progetto per i materiali (punto 4.2), le prescrizioni da seguire per gli stati limite ultimi (punto 4.3) e per gli stati limite di esercizio (punto 4.4).

Cap. 5. Prescrizioni costruttive

fornisce tra l'altro indicazioni sulla disposizione delle armature, ancoraggi e sovrapposizioni (punto 5.2) e sugli elementi strutturali (punto 5.4).

Cap. 6. Esecuzione e qualità dell'esecuzione

Cap. 7. Controllo di qualità

Appendici 1-4

riportano ulteriori disposizioni relative agli effetti della deformazione del calcestruzzo dipendenti dal tempo, all'analisi non lineare, agli stati limite ultimi indotti da deformazioni strutturali, alla determinazione delle deformazioni.

2.4. Eurocodice 2 (EN, 2002)

La conversione dell'Eurocodice 2 in norma definitiva (EN), giunta a termine nel 2002, ha portato ad una riorganizzazione complessiva del testo, oltre che a varie modifiche sparse. Questa versione non è ancora stata recepita in Italia, ma è comunque un riferimento importante per il futuro¹. Essa è organizzata nel seguente modo:

Cap. 1. Introduzione

Cap. 2. Basi del progetto

Cap. 3. Proprietà dei materiali

comprende anche i dati di progetto per i materiali, prima riportati in un altro capitolo, e fornisce indicazioni per i calcestruzzi ad alta resistenza, precedentemente ignorati.

¹ Nel presente testo quando nei richiami all'Eurocodice 2 la versione non è espressamente indicata si intende far riferimento alla versione 1993, approvata dall'UNI.

Cap. 4. Durabilità e ricoprimento delle armature

definisce le classi di esposizione ambientale e i provvedimenti da prendere per la protezione delle armature.

Cap. 5. Analisi strutturale

fornisce indicazioni sulle imperfezioni da considerare nel calcolo, sulla modellazione della struttura, sui tipi di analisi (lineare o con non-linearità meccaniche), sulle non linearità geometriche.

Cap. 6. Stato limite ultimo

oltre alle prescrizioni consuete per la verifica allo stato limite ultimo di sezioni soggette alle varie caratteristiche di sollecitazione, fornisce anche indicazioni specifiche per tiranti e puntoni, nonché per la verifica a fatica.

Cap. 7. Stati limite di esercizio

Cap. 8. Particolari costruttivi per le armature – considerazioni generali

fornisce indicazioni sulla disposizione delle armature, su ancoraggi e sovrapposizioni.

Cap. 9. Particolari costruttivi per le membrature e indicazioni specifiche

fornisce indicazioni per i diversi elementi costruttivi, come travi e pilastri, piastre, pareti.

Cap. 10. Regole aggiuntive per elementi e strutture prefabbricati

Cap. 11. Strutture realizzate con calcestruzzi alleggeriti

Cap. 12. Strutture realizzate con calcestruzzo non armato o poco armato

Appendici A-I

riportano informazioni relative a problemi specifici, quali: effetti della deformazione del calcestruzzo dipendenti dal tempo, cadute di tensione nelle barre di precompressione, interazione suolo-struttura, effetti del secondo ordine.

2.5. Eurocodice 3 (ENV, 1994)

L'Eurocodice 3, parte 1-1, è stato approvato dal Comitato europeo di normalizzazione (CEN) nell'aprile 1992 come norma europea provvisoria (ENV). La traduzione ufficiale italiana è stata pubblicata nel giugno 1994 dall'UNI (ente italiano di unificazione).

Il già citato D.M. 9/1/96 autorizza l'uso di tale norma e fornisce specifiche prescrizioni integrative, sostitutive e soppressive delle indicazioni contenute nell'Eurocodice stesso; la parte II, sezione III, del decreto costituisce il Documento di Applicazione Nazionale (NAD) previsto dal

Comitato europeo di normalizzazione. L'Eurocodice 3 è organizzato nel seguente modo:

Cap. 1. Introduzione

indica lo scopo dell'Eurocodice e riporta la simbologia.

Cap. 2. Principi di progettazione

riporta i requisiti fondamentali (punto 2.1), le definizioni generali relative a stati limite, azioni e proprietà dei materiali (punto 2.2), le combinazioni di carico da usare per verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio (punto 2.3), indicazioni sulla durabilità (punto 2.4) e sulla resistenza al fuoco (punto 2.5).

Cap. 3. Materiali

fornisce indicazioni sull'acciaio strutturale (punto 3.2) e sugli elementi di giunzione, come bulloni e chiodi (punto 3.3).

Cap. 4. Stati limite di servizio

fornisce principalmente i valori limite degli spostamenti verticali ed orizzontali.

Cap. 5. Stati limite ultimi

fornisce i valori dei coefficienti parziali γ_M ed i criteri generali di verifica (punto 5.1) e indicazioni sui metodi di analisi, sulla schematizzazione, sulle imperfezioni e sui problemi di stabilità (punto 5.2); riporta una classificazione delle sezioni trasversali in base alla capacità di deformazione plastica (punto 5.3); fornisce le prescrizioni da seguire per verificare la resistenza delle sezioni trasversali (punto 5.4), la resistenza delle membrane all'instabilità (punto 5.5), la resistenza all'instabilità per taglio (punto 5.6), la resistenza dell'anima alle forze trasversali (punto 5.7), nonché prescrizioni specifiche per strutture a maglie triangolari (punto 5.8) e membrane composte (punto 5.9).

Cap. 6. Collegamenti soggetti a carichi statici

fornisce tra l'altro i valori dei coefficienti parziali γ_M da usare nella verifica dei collegamenti (punto 6.1), una classificazione dei collegamenti stessi (punto 6.4), indicazioni sui collegamenti bullonati (punto 6.5) e saldati (punto 6.6), nonché prescrizioni specifiche per i collegamenti trave-colonna (punto 6.9) e per i giunti di base (punto 6.11).

Cap. 7. Fabbricazione e montaggio

riporta indicazioni sulle tolleranze nella preparazione dei pezzi e nel montaggio

Cap. 8. Progettazione integrata da prove

Cap. 9. Fatica

Appendici

riportano ulteriori disposizioni, normative o informative, relative a problemi specifici; nel documento approvato dal CEN sono state inserite solo le appendici B, C, E, F, J, K, L, M, Y.

2.6. Eurocodice 3 (EN, 2003)

La conversione dell'Eurocodice 3 in norma definitiva (EN), giunta a termine nel 2003, ha portato ad una riorganizzazione del testo. In particolare, la parte 1-1 ora contiene solo le indicazioni relative alla verifica degli elementi strutturali, mentre la verifica dei collegamenti è trattata nella parte 1-8. Anche in questo caso la versione EN non è ancora stata recepita in Italia, ma è comunque un riferimento importante per il futuro.

Cap. 5, par. 3, aggiornato nel nov. 2005

3. Indicazioni di normativa

3.1. Limiti di R_{ck} e controlli di accettazione

La normativa italiana impone di utilizzare come riferimento il valore caratteristico della resistenza cubica R_{ck} misurata su provini cubici con 28 giorni di maturazione.

Il par. 5.2 del D.M. 9/1/96 definisce i valori minimi e massimi della resistenza caratteristica: non è ammesso l'uso di calcestruzzi con R_{ck} minore di 15 MPa per opere in cemento armato normale o minore di 30 MPa per opere in cemento armato precompresso; quando si usa un $R_{ck} \geq 40$ MPa sono richiesti controlli statistici sia preliminari che in corso d'impiego, nonché calcolazioni accurate delle strutture; non è ammesso considerare una resistenza caratteristica maggiore di 55 MPa.

Nota: il D.M. 14/9/05 (punto 5.1) consente di utilizzare calcestruzzi con resistenza caratteristica maggiore di 55 MPa, denominati calcestruzzi ad alta resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo occorre però utilizzare per tali calcestruzzi un legame tensioni-deformazioni diverso da quello classico, valido per calcestruzzi a resistenza bassa o media.

L'allegato 2 del D.M. 9/1/96 impone le modalità da seguire per il controllo di accettazione del calcestruzzo utilizzato per la costruzione. Occorre effettuare un prelievo ogni 100 m³ di getto, realizzando con il calcestruzzo prelevato due provini; la media delle resistenze dei due provini costituisce il valore mediante il quale eseguire i controlli del conglomerato. Usualmente ogni controllo di accettazione è rappresentato da tre prelievi (quindi si effettua un controllo al massimo ogni 300 m³

di getto). Dette R_1, R_2, R_3 le resistenze di prelievo, con $R_1 \leq R_2 \leq R_3$, se ne calcola il valore medio

$$R_m = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

Il controllo ha esito positivo se sono verificate entrambe le disequazioni

$$R_m \geq R_{ck} + 3.5 \text{ MPa} \quad R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \text{ MPa}$$

In alternativa, per costruzioni con volume di getto più elevato è ammesso un controllo statistico, da effettuare ogni 1500 m³ di getto e sempre con un prelievo ogni 100 m³ di getto. Indicando con R_1 il valore minimo, R_n il valore medio ed s lo scarto quadratico medio dei 15 o più prelievi, il controllo è positivo se sono verificate entrambe le disequazioni

$$R_m \geq R_{ck} + 1.4 s \quad R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \text{ MPa}$$

Nota: il D.M. 14/9/05 rende obbligatorio il controllo statistico nelle costruzioni con più di 1500 m³ di getto.

L'Eurocodice 2 considera invece come riferimento primario il valore caratteristico della resistenza cilindrica f_{ck} ed individua il calcestruzzo con una sigla che contiene due numeri, il primo dei quali indica la resistenza caratteristica cilindrica ed il secondo quella cubica. Ad esempio, la sigla C 20/25 indica che $f_{ck} = 20$ MPa e $R_{ck} = 25$ MPa. Tale calcestruzzo equivale quindi al calcestruzzo classificato in Italia come di classe $R_{ck} = 25$ MPa. Nell'utilizzare in Italia l'Eurocodice 2 occorre comunque tenere presente che il documento di applicazione nazionale (NAD) italiano impone di far riferimento, come valore base, alla resistenza cubica e di ricavare da questa tutti gli altri valori necessari per il calcolo.

3.2. Modulo elastico

Il modulo elastico del calcestruzzo è tanto più alto quanto maggiore è la resistenza a compressione. Il D.M. 9/1/96 (par. 2.1.3) consente quindi di valutare il modulo tangente all'origine E_c mediante la relazione

$$E_c = 5700 \sqrt{R_{ck}}$$

L'Eurocodice 2 riporta nel capitolo 3 una relazione tra modulo elastico e resistenza cilindrica. Il documento di applicazione nazionale italiano impone però di utilizzare in ogni caso la formula sopra riportata.

Nota: il D.M. 14/9/05 (punto 11.1.10.3) impone di determinare il valore di E_c da utilizzare in fase di progettazione mediante l'espressione

$$E_c = 11000 \sqrt[3]{R_{cm}}$$

che fornisce valori più alti. Negli esempi del testo si fa comunque riferimento alla formula del D.M. 9/1/96.

3.3. Resistenza a trazione e legame σ - ε per sezione non fessurata

La resistenza a trazione può essere messa in relazione con quella a compressione. Il D.M. 9/1/96 (par. 2.1.2) impone le seguenti relazioni

- resistenza media a trazione $f_{ctm} = 0.27 \sqrt[3]{R_{ck}^2}$
- resistenza caratteristica (frattile 5%) $f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$

Per sezioni soggette a flessione, occorrerebbe tener conto della non linearità del calcestruzzo teso. È però molto più agevole ipotizzare che il suo comportamento sia lineare. Per compensare l'approssimazione di tale approccio occorre usare una resistenza fittiziamente maggiorata. La normativa definisce quindi

- resistenza a trazione per flessione $f_{ctk} = 1.2 f_{ctk}$

L'Eurocodice 2 riporta nel capitolo 3 formule per il calcolo della resistenza a trazione del calcestruzzo in funzione della resistenza a compressione analoghe ma non coincidenti con quelle previste dal D.M. 9/1/96. Il documento di applicazione nazionale italiano impone però di seguire le indicazioni sui materiali contenuti nel D.M. 9/1/96 anche quando si utilizza l'Eurocodice 2.

Nelle sezioni in cui la tensione massima di trazione non ha mai superato il valore caratteristico della resistenza a trazione si può ipotizzare una relazione elastica lineare tra deformazioni e tensioni nel calcestruzzo. Si parla in questo caso di *primo stadio* di comportamento del materiale (vedi più avanti, nei par. 3 e 4.1 del cap. 7).

Nota: il D.M. 14/9/05 (punto 11.1.10.2) impone di determinare il valore di f_{ctm} mediante l'espressione

$$f_{ctm} = 0.48 \sqrt{R_{ck}}$$

che fornisce valori abbastanza simili. Le relazioni tra f_{ctk} , f_{ctk} e f_{ctm} rimangono invece inalterate. Negli esempi del testo si fa comunque riferimento alla formula del D.M. 9/1/96.

3.4. Resistenza a compressione: limiti per TA e legame σ - ε per sezione fessurata

Per chi applica il metodo delle tensioni ammissibili, il D.M. 14/2/92 fornisce nel par. 3.1.3 e 3.1.4 le espressioni con le quali calcolare i valori delle tensioni ammissibili per il calcestruzzo, in funzione della sua resistenza cubica caratteristica R_{ck} .

In presenza di flessione, semplice o composta, il valore ammissibile della tensione normale σ , espresso in MPa, è:

$$\bar{\sigma}_c = 6 + \frac{R_{ck} - 15}{4}$$

In presenza di taglio o di torsione vengono definiti due valori della tensione tangenziale τ , che rappresentano rispettivamente il limite al di sotto del quale non è necessario calcolare un'armatura a taglio o torsione e il limite al di sopra del quale la sezione non è adeguata:

$$\bar{\tau}_{c0} = 0.4 + \frac{R_{ck} - 15}{75} \quad \bar{\tau}_{c1} = 1.4 + \frac{R_{ck} - 15}{35}$$

Quest'ultimo valore può essere incrementato del 10% nel caso di presenza contemporanea di taglio e torsione.

Nelle verifiche alle tensioni ammissibili le caratteristiche di sollecitazioni sono in genere tali da comportare il superamento del valore caratteristico della resistenza a trazione; poiché le tensioni di compressione sono ben lontane da quelle di rottura, si può ipotizzare una relazione elastica lineare tra deformazioni e tensioni nel calcestruzzo compresso e l'assenza di resistenza nel calcestruzzo teso. Si parla in questo caso di *secondo stadio* di comportamento del materiale (vedi più avanti, nei par. 3 e 4.2 del cap. 7).

Nota: il D.M. 14/9/05 (punto 5.1.2.3.4) impone di determinare il valore delle tensioni ammissibili, normali e tangenziali, mediante le espressioni

$$\bar{\sigma}_c = \frac{R_{ck}}{3.2}$$

$$\bar{\tau}_{c0} = \frac{f_{ctk}}{3.2} \quad \bar{\tau}_{c1} = \frac{R_{ck}}{12}$$

che forniscono valori simili, ma con differenze a volte non trascurabili. Negli esempi del testo si fa comunque riferimento alle formule del D.M. 14/2/92.

3.5. Resistenza a compressione: limiti e legame σ - ε per SLU

Quando si applica il metodo degli stati limite occorre utilizzare nei calcoli la resistenza cilindrica. Secondo il NAD italiano, questa deve essere determinata a partire dalla resistenza cubica, con la relazione

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$$

Il valore di calcolo è ottenuto dividendo il valore caratteristico per il coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo γ_c

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Per tener conto della riduzione di resistenza per effetto di carichi di lunga durata occorre inoltre ridurre la tensione di calcolo a compressione mediante un coefficiente $\alpha=0.85$. Si deve quindi usare nelle verifiche il valore

$$\alpha f_{cd} = \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Anche i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo sono in parte modificati dal NAD italiano, rispetto ai valori proposti in sede europea. Nelle verifiche allo stato limite ultimo si deve infatti usare un coefficiente γ_c pari a 1.5 per il cemento armato precompresso e 1.6 per il cemento armato ordinario (o in caso di precompressione parziale). Per le verifiche agli stati limite di esercizio il coefficiente γ_c vale sempre 1.

Nota: la versione EN dell'Eurocodice 2, del 2002, ingloba il coefficiente α nel simbolo f_{cd} ponendo

$$f_{cd} = \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Si tratta di una scelta formale che nulla cambia nei risultati. Negli esempi del testo si fa comunque riferimento alla simbologia più classica, utilizzata anche nella versione ENV dell'Eurocodice 2, del 1993, indicando quindi la resistenza di calcolo con αf_{cd} .

Il D.M. 14/9/05 (punto 5.1.2.1.4.1) segue la versione EN dell'Eurocodice 2, inglobando il coefficiente α nel simbolo f_{cd} , ma lega direttamente questo alla resistenza cubica R_{ck}

$$f_{cd} = \frac{R_{ck}}{1.9}$$

Il coefficiente 1.9 non è altro che un arrotondamento del rapporto γ_c/α . Negli esempi del testo si fa comunque riferimento alle indicazioni del D.M. 9/1/96.

Per quanto riguarda il legame tensioni-deformazioni, nelle verifiche allo stato limite ultimo è necessario tener conto dell'andamento non lineare, già evidenziato con riferimento ai dati sperimentali di prove a compressione monoassiale, e continuare ad assumere nulla la resistenza nel calcestruzzo teso. Si parla in questo caso di *terzo stadio* di comportamento del materiale (vedi più avanti, nei par. 3 e 5 del cap. 7).

Le prove mostrano che l'andamento crescente curvilineo del diagramma tensioni-deformazioni raggiunge il massimo $-f_c$ per una deformazione ε_{c1} prossima a -0.002 (il segno negativo dipende dal fatto che la convenzione dei segni usata nel testo considera negativa la deformazione di accorciamento e la tensione di compressione; le resistenze R_c e f_c sono invece riportate senza segno). Se la prova è condotta imponendo deformazioni (non carichi) si nota un successivo tratto discendente, fino al valore di rottura ε_{cu} . La pendenza di questo tratto e la deformazione di rottura dipendono dalla resistenza massima del calcestruzzo (i materiali più resistenti sono meno duttili, cioè hanno minori deformazioni a rottura); ma dipende, soprattutto, dalla eventuale presenza di armature di confinamento (staffe).

Numerosi ricercatori hanno proposto formule che esprimono in maniera analitica il legame costitutivo del calcestruzzo. Sargin ha suggerito una espressione molto generale

$$\sigma_c = -\frac{A \eta + (D-1) \eta^2}{1 + (A-2) \eta + D \eta^2} f_c \quad \text{con} \quad \eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1}}$$

ed ha fornito indicazioni per collegare i coefficienti A e D ai dati geometrici dell'elemento ed a caratteristiche del calcestruzzo ricavabili sperimentalmente. Kent e Park hanno proposto una legge nella quale il tratto crescente è parabolico mentre quello decrescente è lineare, con una estensione e pendenza dipendenti dalla quantità di armature di confinamento, e termina con un tratto costante fino alla ε di rottura.

L'Eurocodice 2 suggerisce di utilizzare per un'analisi strutturale non lineare o plastica la seguente legge (fig. 5)

$$\sigma_c = -\frac{k \eta - \eta^2}{1 + (k-2) \eta} f_c$$

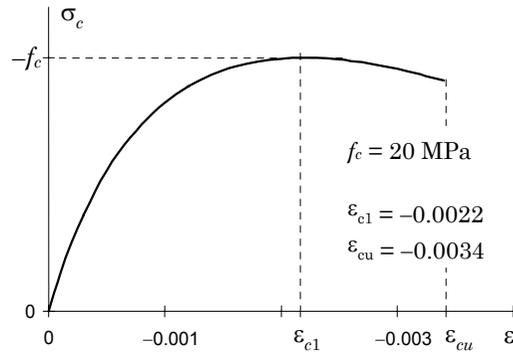


Fig. 5 - legame costitutivo per il calcestruzzo, da utilizzare per analisi non lineari

con $\eta = \frac{\epsilon}{\epsilon_{c1}}$ $k = -\frac{E_{c0} \epsilon_{c1}}{f_c}$

$\epsilon_{c1} = -0.0022$ $\epsilon_{cu} = -0.0037 + 0.0008 \frac{f_{cm} - 15}{40}$

E_{c0} modulo tangente all'origine

che è derivata da quella di Sargin, ponendo $A=k$ e $D=0$.

Nella verifica allo stato limite ultimo delle sezioni trasversali sia l'Eurocodice 2 (punto 4.2.1.3.3) che il D.M. 9/1/96 (par. 4.0.2 e 4.2.1.3) impongono l'uso di un diagramma tensioni-deformazioni convenzionale, costituito da un tratto parabolico ed uno costante, con tensione massima pari a $-\alpha f_{cd}$ (fig. 6); per i calcestruzzi normalmente utilizzati le deformazioni limite valgono

$$\epsilon_{c1} = -0.0020 \quad \epsilon_{cu} = -0.0035$$

L'equazione del tratto parabolico si scrive

$$\sigma_c = -\eta (2 - \eta) \alpha f_{cd}$$

L'Eurocodice 2 consente anche l'uso di diagrammi semplificati, quale quello bilineare (nel quale il tratto parabolico è sostituito da un tratto lineare che raggiunge il massimo per $\epsilon_c = -0.00135$) oppure l'uso di una distribuzione di tensione costante (pari a $-\alpha f_{cd}$) per un'altezza corrispondente all'80% della zona compressa.

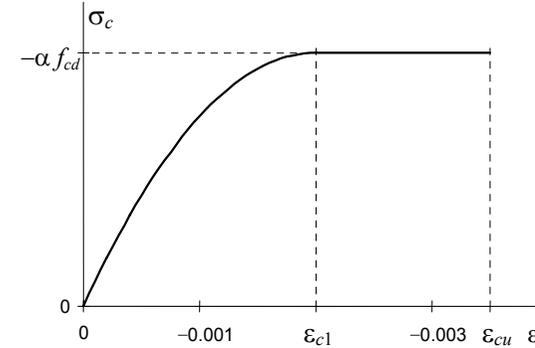


Fig. 6 - legame costitutivo per il calcestruzzo, da utilizzare per la verifica delle sezioni trasversali

Nel caso di calcestruzzi ad alta resistenza, il D.M. 14/9/05 (punto 5.1.2.1.5) modifica la deformazione limite del tratto parabolico e la deformazione ultima, portandole rispettivamente a -0.0024 e -0.0027 . La versione EN dell'Eurocodice 2 introduce ulteriori differenziazioni, variando gradualmente i limiti al crescere della resistenza e modificando l'esponente del tratto curvilineo, che da 2 scende progressivamente ad 1.4. Queste modifiche, che comporterebbero una variazione delle espressioni e dei valori dei coefficienti β e κ (definiti nei cap. 9 e 10) non sono ulteriormente approfondite nel presente testo, anche perché l'uso in Italia di calcestruzzi di resistenza così elevata appare ancora avveniristico.

Occorre infine notare che, per meglio differenziare i tre diagrammi citati (curvilineo, parabola-rettangolo e bilineare) le norme più recenti aggiungono, nell'individuare le deformazioni limite, rispettivamente i pedici 1, 2 e 3. I limiti del diagramma parabola-rettangolo sono quindi denominati ϵ_{c2} e ϵ_{cu2} anziché ϵ_{c1} e ϵ_{cu} .

Esempio 1. Determinare il modulo elastico e la resistenza a trazione per calcestruzzi di classe $R_{ck} = 25, 30, 35$ MPa.

Per un calcestruzzo di classe $R_{ck} = 25$ MPa si ha

$$E_c = 5700 \sqrt{25} = 28500 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.27 \sqrt[3]{25^2} = 2.31 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \times 2.31 = 1.62 \text{ MPa}$$

$$f_{cflk} = 1.2 \times 1.62 = 1.94 \text{ MPa}$$

In maniera analoga si procede per le altre classi di calcestruzzo. I valori ottenuti sono riepilogati nella tabella 1.