

S T R U T T U R E
SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE

CALCOLO DI STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO

INTRODUZIONE ALL'EUROCODICE 2 Parte 1-1
(EN 1992-1-1) con riferimenti alle Norme Tecniche
per le Costruzioni 2008 correlate.

Completo di software CESCOCONCRETE®

- Travi, colonne, travi continue rettilinee prismatiche.
- Illimitati casi, combinazioni, numero di elementi.
- Progetto agli SLU (trazione, compressione, flessione e pressoflessione retta, taglio).
- Verifica agli SLE (limitazioni tensioni, apertura di fessure).
- Sezioni rettangolari ed a T.

di
LUIGI ATTANASIO
PAOLO RUGARLI



EPC LIBRI

INDICE GENERALE



CAPITOLO 1

INTRODUZIONE	13
--------------------	----

CAPITOLO 2

PANORAMICA.....	17
-----------------	----

2.1 Il quadro normativo nazionale e la normativa europea	18
---	-----------

2.2 Struttura degli Eurocodici.....	21
--	-----------

2.2.1 <i>Inquadramento dell'EC2 nell'organizzazione degli Eurocodici.....</i>	<i>24</i>
---	-----------

2.2.2 <i>Principi e regole di applicazione</i>	<i>26</i>
--	-----------

2.2.3 <i>Le Appendici Nazionali (National Annexes)</i>	<i>27</i>
--	-----------

2.3 Struttura dell' Eurocodice 2.....	28
--	-----------

2.4 L'Eurocodice 2 – Parte 1-1: contenuti, organizzazione, struttura	29
---	-----------

2.5 NTC 2008 ed Eurocodice 2.....	33
--	-----------

CAPITOLO 3

NOTAZIONE E SIMBOLOGIA	35
------------------------------	----

3.1 Generalità	35
-----------------------------	----

3.2 Terminologia e notazione	36
---	----

3.2.1 <i>Glossario dei principali termini</i>	36
---	----

3.2.2 <i>Principali simboli della EN 1992-1-1</i>	39
---	----

CAPITOLO 4

ASPETTI GENERALI DELLA EN 1992-1-1	45
--	----

4.1 Modellazione del comportamento meccanico dei materiali: calcestruzzo e acciaio	45
---	----

4.1.1 <i>Comportamento meccanico del calcestruzzo</i>	45
---	----

4.1.1.1 <i>Modellazione del comportamento a compressione del calcestruzzo non confinato</i>	45
---	----

4.1.1.1.1 <i>La resistenza di progetto a compressione</i>	50
---	----

4.1.1.1.2 <i>La resistenza media a compressione e il modulo elastico medio del calcestruzzo</i>	50
---	----

4.1.1.1.3 <i>La resistenza di progetto a trazione</i>	51
---	----

4.1.1.1.4 <i>Legami costitutivi di progetto allo SLU</i>	52
--	----

4.1.1.1.5 <i>Gli effetti della viscosità</i>	56
--	----

4.1.1.1.6 <i>Gli effetti del ritiro</i>	62
---	----

4.1.1.2 <i>Calcestruzzo confinato</i>	65
---	----

4.1.2 <i>Legame costitutivo di progetto dell'acciaio in barre da c.a.</i>	65
---	----

4.1.3 <i>Confronto con le NTC 2008 e commenti</i>	71
---	----

4.1.3.1 <i>Calcestruzzo</i>	71
-----------------------------------	----

4.1.3.1.1	<i>Legami costitutivi di progetto per il calcestruzzo compresso</i>	76
4.1.3.2	<i>Acciaio</i>	77
4.2	La "durabilità" delle strutture in c.a. e le ripercussioni sul progetto strutturale	77
4.2.1	<i>La vita utile di progetto e la durabilità</i>	77
4.2.2	<i>Le cause di degrado e le classi di esposizione ambientale</i>	79
4.2.3	<i>Le classi di resistenza minima raccomandate in funzione della classe di esposizione</i>	82
4.2.4	<i>L'influenza del copriferro sulla durabilità</i>	86
4.2.4.1	<i>Il valore minimo del copriferro a garanzia di aderenza delle barre al calcestruzzo: $c_{min,b}$</i>	86
4.2.4.2	<i>Il valore minimo del copriferro per esigenze di durabilità: $c_{min,dur}$</i>	87
4.2.5	<i>Il copriferro minimo ed il valore del copriferro nominale</i>	89
4.2.5.1	<i>Copriferro minimo</i>	89
4.2.5.2	<i>Copriferro nominale</i>	91
4.2.6	<i>Procedura operativa per la determinazione della Classe di resistenza minima ed il calcolo del copriferro nominale</i>	91
4.2.7	<i>Confronto con le NTC 2008 e le relative Istruzioni applicative</i>	91
4.3	Gli Stati Limite applicati al c.a. – definizioni	95
4.3.1	<i>Gli Stati Limite Ultimi</i>	96
4.3.2	<i>Gli Stati Limite di Esercizio</i>	97
4.4	Determinazione delle sollecitazioni di progetto: Combinazioni di carico di progetto ed Analisi strutturale	97
4.4.1	<i>Le Azioni sulla struttura</i>	97
4.4.2	<i>Le combinazioni di carico di progetto</i>	101
4.4.2.1	<i>Combinazioni di carico relative agli Stati Limite Ultimi</i>	103



4.4.2.2	Combinazioni di carico relative agli Stati Limite di Esercizio.....	110
4.4.3	Confronto con le NTC 2008.....	111
4.4.3.1	Azioni	111
4.4.3.2	Combinazioni di carico.....	112
4.4.3.2.1	Combinazioni agli SLU	112
4.4.3.2.2	Combinazioni agli SLE	113
4.4.4	L'analisi strutturale.....	114
4.4.4.1	Il modello di calcolo.....	114
4.4.4.1.1	Individuazione degli elementi e geometria del modello	115
4.4.4.2	Metodi di analisi strutturale	118
4.4.4.3	Il "mito" del calcolo preciso.....	121

CAPITOLO 5

LE PRINCIPALI VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI..... 125

5.1	Progetto e verifica allo SLU per tensioni normali	125
5.1.1	Introduzione.....	125
5.1.2	I limiti di applicazione del modello di calcolo.....	125
5.1.3	Impostazione del problema ed ipotesi di calcolo	128
5.1.4	Descrizione dello stato deformativo della sezione.....	131
5.1.5	Stato deformativo e stato tensionale della sezione	134
5.1.6	Risultante e Momento risultante delle azioni interne – Analisi della sezione	135
5.1.7	Le deformate di crisi (o condizioni deformative critiche)	137
5.1.8	Equilibrio della sezione, diagramma di interazione N_{Rd} - M_{Rd} e Dominio di resistenza	141
5.1.9	La costruzione del diagramma di interazione N_{Rd} - M_{Rd}	145
5.1.9.1	Il caso della sezione di forma generica.....	145
5.1.9.2	Il caso della sezione rettangolare a doppia armatura.....	148

5.2.3	<i>Il trasferimento del taglio tra anima e ala in una sezione a "T"</i>	218
5.2.4	<i>Confronti con le NTC 2008 e commenti.....</i>	223
5.2.4.1	<i>Verifiche a flessione semplice e composta.....</i>	223
5.2.4.2	<i>Verifiche a taglio</i>	224
5.2.4.3	<i>Introduzione a questioni di progettazione antisismica – "duttilità" e "gerarchia delle resistenze"</i>	225
5.2.4.3.1	<i>Cenni al "Capacity Design" nel progetto a taglio delle travi</i>	226
5.2.4.3.2	<i>Cenni al "Capacity Design" nel progetto dei pilastri</i>	234
5.2.4.3.3	<i>"Capacity Design" nel progetto delle fondazioni</i>	243
5.2.4.3.4	<i>Considerazioni finali in merito alla gerarchia delle resistenze</i>	243

CAPITOLO 6

	LE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	245
6.1	Introduzione.....	245
6.1.1	<i>I modello di calcolo per le verifiche agli SLE.....</i>	246
6.2	La limitazione delle tensioni in esercizio	248
6.2.1	<i>Confronto con le NTC 2008.....</i>	250
6.3	La verifica dello stato di fessurazione	250
6.3.1	<i>Il fenomeno della fessurazione e la sua modellazione.....</i>	251
6.3.1.1	<i>Il Tension Stiffening e la deformazione media dell'acciaio e del calcestruzzo tra due successive fessure.....</i>	257
6.3.1.2	<i>Estensione agli elementi inflessi</i>	261
6.3.2	<i>L'ampiezza limite delle fessure.....</i>	265
6.3.3	<i>Il procedimento per la verifica di fessurazione.....</i>	266

6.3.3.1	<i>Il quantitativo minimo di armatura</i>	266
6.3.3.2	<i>La verifica della fessurazione calcolando direttamente l'ampiezza delle fessure</i>	269
6.3.4	<i>Confronto con le NTC 2008</i>	274
6.4	La verifica degli spostamenti (SL di deformazione)	280
6.4.1	<i>Metodi di verifica rispetto allo SL di deformazione e modello di calcolo delle deformazioni</i>	281
6.4.1.1	<i>Verifica senza calcolo esplicito degli spostamenti</i>	281
6.4.2	<i>Confronto con le NTC 2008</i>	290

CAPITOLO 7

	GUIDA ALL'USO DEL PROGRAMMA	297
7.1	Inquadramento	297
7.2	Installazione	300
7.3	Registrazione	300
7.4	Trasferimento della licenza da un computer a un altro	303
7.5	Successive versioni, aggiornamenti, comunicazioni	304
7.5.1	<i>Interfaccia</i>	304
7.6	Itinerario di lavoro tipico	305
7.6.1	<i>Introduzione</i>	305
7.6.2	<i>Prime tappe</i>	306
7.6.3	<i>Progetto automatico agli SLU, verifica agli SLE</i>	309
7.7	Comandi	314
7.7.1	<i>Premessa</i>	314



7.7.2	<i>Menu File</i>	315
7.7.3	<i>Menu Mostra</i>	316
7.7.4	<i>Menu Interroga</i>	317
7.7.5	<i>Menu Disegna</i>	317
7.7.6	<i>Menu Seleziona</i>	317
7.7.7	<i>Menu Strutture</i>	318
7.7.8	<i>Menu Edit</i>	320
7.7.9	<i>Menu Edit-Nodi</i>	327
7.7.10	<i>Menu Edit-Rami</i>	327
7.7.11	<i>Menu Edit-Azioni</i>	333
7.7.12	<i>Menu Edit-Vincolo</i>	339
7.7.13	<i>Menu Edit-Svincolo</i>	341
7.7.14	<i>Menu Edit-Masse</i>	343
7.7.15	<i>Menu Edit-Casi</i>	344
7.7.16	<i>Menu Edit-Combinazioni</i>	346
7.7.17	<i>Menu Post</i>	348
7.7.18	<i>Menu C.A.</i>	358
7.7.19	<i>Menu Help</i>	375
7.8	I comandi di progetto/verifica per il calcestruzzo armato	376
7.8.1	<i>Generalità</i>	376
7.8.2	<i>Progetto/verifica agli SLU per tensioni normali</i>	378
7.8.3	<i>Progetto/verifica agli SLU per tensioni tangenziali</i>	381
7.8.4	<i>Verifiche agli SLE</i>	385
7.8.4.1	<i>Limitazione delle tensioni</i>	386
7.8.4.2	<i>Ampiezza delle fessure</i>	387
7.9	Il tabulato	391

CAPITOLO 8

ESEMPI	401
8.1 Esempio 1: mensola	401
8.1.1 <i>Calcoli a mano</i>	401
8.1.2 <i>Calcoli eseguiti dal programma</i>	407
8.2 Esempio 2: pilastro semplicemente compresso	414
8.2.1 <i>Calcoli a mano</i>	414
8.2.2 <i>Calcoli eseguiti dal programma</i>	416
8.3 Esempio 3: trave semplicemente appoggiata – sezione rettangolare	420
8.3.1 <i>Calcoli a mano</i>	420
8.3.2 <i>Calcoli eseguiti dal programma</i>	429
8.4 Esempio 4: trave continua a due campate	438
8.4.1 <i>Calcoli a mano</i>	438
8.4.2 <i>Calcoli eseguiti dal programma</i>	446
8.5 Esempio 5: trave semplicemente appoggiata – sezione a T	454
8.5.1 <i>Calcoli a mano</i>	454
8.5.2 <i>Calcoli eseguiti dal programma</i>	463
 BIBLIOGRAFIA	 473



INTRODUZIONE

L'Eurocodice 2 si avvia a diventare la norma di riferimento per le costruzioni in calcestruzzo armato sia in Italia che in Europa. I numerosi cambiamenti normativi intercorsi in Italia a partire dal 2003, per ragioni essenzialmente legate all'aggiornamento delle norme sismiche, hanno di fatto prodotto un progressivo distacco dalle norme alle tensioni ammissibili verso le norme agli stati limite. Come è ben noto, non è che le norme precedenti non prevedessero il metodo degli stati limite, ma indubbiamente la loro sostanziale coerenza è stata introdotta con l'Ordinanza 3274 del 2003. A seguito della emissione di questa Ordinanza, in sé piuttosto criticabile per la fretta e le numerose imprecisioni del testo pubblicato in Gazzetta Ufficiale, si sono succeduti due distinti testi normativi, uno del 2005 ed un altro del 2008, i quali hanno recepito alcune delle sostanziali modifiche introdotte con l'Ordinanza, riconsiderandole e riordinandole all'interno di un più ampio quadro di aggiornamento normativo avente come obiettivo il sostanziale allineamento con gli Eurocodici. Questa esigenza è stata dettata da varie considerazioni, tra le quali, certo non ultime, la necessità di armonizzare le norme italiane con quelle europee, in vista di un'accresciuta integrazione tra i vari Paesi membri.

Le norme del 2008, dette NTC 2008, si pongono sostanzialmente come una riduzione degli Eurocodici, una loro sintesi volta da un lato a favorirne l'impiego, dall'altro ad ottemperare a quella esigenza di armonizzazione di cui si è detto. Nel ridurre una Norma, operazione non facile, si possono volontariamente o meno introdurre piccole disuniformità o incongruenze, paragrafi poco chiari e abbisognevoli di maggiori dettagli. Questo è avvenuto anche per le NTC 2008, tanto che all'inizio del 2009 è stata pubblicata una corposa circolare esplicativa (circa 400 pagine) che non solo cerca di chiarire e meglio delimitare il significato del testo normativo, ma di fatto introduce, in più punti, nuove indicazioni ed interpretazioni in effetti opposte al testo normativo stesso (si veda ad esempio quanto in Cap. 10 a proposito delle validazioni dei modelli: il controllo da parte del controllato di sé medesimo era escluso dal testo originario, ma la circolare invece lo consente).

Tutto questo lavoro, e le 800 pagine di testo normativo prodotte negli ultimi



anni, possono aver indotto a due riflessioni: la prima è che forse, data la vastità del lavoro e la sua complessità, e dato l'esito non certo sintetico, si sarebbe potuto *ab initio* rinunciare ad un nuovo testo normativo per accettare invece il testo degli Eurocodici, dedicando il tempo e gli sforzi profusi alla messa a punto di corposi commentari, atti a consentire una più agevole interpretazione; la seconda riflessione è che dato il continuo succedersi ed accavallarsi di testi normativi anche tra loro diversi, e comunque necessariamente diversi dagli eurocodici, tanto vale per il progettista avveduto dedicarsi direttamente ad apprendere ed utilizzare gli eurocodici stessi, i quali tra l'altro, dichiaratamente, sono i testi a cui si è ispirata la nuova norma.

Gli Autori ritengono che questa seconda riflessione, in particolare, sia degna di menzione, ed unita questa seconda con la prima sono giunti alla conclusione che fosse opportuno mettere a punto un testo, che si aggiunge ai precedenti in questa stessa Collana "Strutture", volto ad introdurre all'Eurocodice 2, senza nessuna particolare pretesa se non quella di cercare di essere utili.

In effetti ancora oggi testi esplicativi degli Eurocodici non sono così diffusi: in parte ciò si deve al fatto che gli stessi Eurocodici hanno subito una lunga storia di modifiche, in parte al fatto che questi non sono mai stati effettivamente cogenti. Ancora oggi, nonostante quanto detto, si potranno trovare persone, anche magari con incarichi di responsabilità, del tutto ignoranti la fondamentale circostanza che le NTC 2008 e tutte le norme precedenti, inclusa l'Ordinanza 3274, altro non sono che rimaneggiamenti degli Eurocodici, dai quali espungono metodi, formule ed assunzioni, nonché la stessa terminologia e notazione. Qualcuno potrà quindi ancora cavalcare l'idea che si debbano usare per forza le NTC 2008 e non gli Eurocodici, o peggio, che mancando un documento formale che determini i coefficienti incasellati, gli Eurocodici non siano sostanzialmente applicabili. Questa situazione di confusione ha di fatto creato quella zona grigia che serve a continuare a fare un pò tutto e il contrario di tutto, in maniera purtroppo a tutti ben nota essendo tutti, come siamo, abituati a certo malvezzo italiano. Fino a pochissimo tempo fa, in Italia erano sul campo queste normative: D.M. 1996, Ordinanza 3274 e 3431, NTC 2005, NTC 2008 e relativa circolare, ed Eurocodici. Tutto questo sembra indicare che l'orchestra si è confusa, sviata, che qualcosa non è andato per il verso giusto.

A questa situazione dovrebbe aver posto fine la scadenza del periodo di coesistenza dell'ultima Normativa Tecnica, la NTC 2008, con le precedenti, anche se, nel momento in cui ci si pone di fronte a problemi applicativi legati alla pratica professionale, è spesso necessario ricorrere a riferimenti normativi o di letteratura tecnica consolidata esterni allo stesso testo del D.M. 14 gennaio 2008.

A cosa riferirsi, dunque?

A parere nostro prima di tutto agli Eurocodici. Non perché essi siano privi di aspetti criticabili o perché essi siano facili, ma perché essi sono la norma di riferimento europea e perché utilizzando essi certamente non si è meno scrupolosi che usando le altre norme. Gli eurocodici perché essi sono il nostro futuro. Gli eurocodici perché tanto vale studiare bene una cosa una volta sola, piuttosto che studiare male varie cose simili tre volte.

Questo testo è quindi principalmente diretto ad illustrare l'Eurocodice 2 parte 1-1. Lo scopo è quello di aiutare ad avvicinarsi alla norma, e naturalmente non è esaustivo: chi legge questo testo non ha finito, ma, in un certo senso, ha iniziato. Come per i testi che lo hanno preceduto, e diretti ad illustrare l'Eurocodice 3 e l'Eurocodice 5, questo testo cerca di essere chiaro e di spiegare nel modo più piano possibile formule e concetti.

Al testo è associato un software, denominato CESCO CONCRETE, che è la specializzazione di un altro programma, CESCOPLUS, distribuito da Castalia srl (www.castaliaweb.com). CESCOPLUS, a sua volta, deriva dal programma CESCO, parte di un pacchetto coprodotto da Castalia srl e dal Politecnico di Milano. CESCO CONCRETE segue i già collaudati CESCO WOOD (associato al testo sull'Eurocodice 5) e CESCO STEEL (associato al testo sull'Eurocodice 3) e ne eredita molte caratteristiche. Come per i precedenti programmi, CESCO CONCRETE è limitato ad elementi rettilinei (travi semplici, travi continue). Le forme sezionali possibili sono solo due: la sezione rettangolare e la sezione a T. Lo strumento si propone di essere un agile ausilio per predimensionare semplici elementi strutturali e/o per validare a mezzo di cross check altri calcoli e progetti. Il programma esegue sia le verifiche allo stato limite ultimo sia quelle allo stato limite di esercizio, e considera il più generale caso di (N, V, M) su strutture piane aventi le limitazioni dette. Si tratta di un programma sicuramente molto utile. Il programma CESCOPLUS distribuito da Castalia srl rimuove le limitazioni sulla geometria e consente di trattare anche strutture intelaiate.

Il testo è diviso in otto capitoli.

Mentre il presente cap. 1 ha uno scopo puramente introduttivo, il cap. 2 è dedicato ad una panoramica sull'assetto normativo italiano ed europeo, sulla organizzazione generale degli eurocodici e sulla struttura dell'Eurocodice 2, nella sua versione EN 1992 del 2005, evidenziando le relazioni di questo testo normativo con gli altri eurocodici, con specifiche norme di prodotto e, ovviamente, con le NTC 2008 italiane.

Il cap. 3 contiene alcune indicazioni utili per la lettura del testo della EN 1992-1-1 e del presente testo, presentando notazione e simbologia, nonché un glossario di base con le definizioni fondamentali.



Il cap. 4 tratta di alcuni aspetti generali dell'Eurocodice 2 - Parte 1-1: la modellazione del comportamento meccanico dei materiali costituenti le strutture in c.a., calcestruzzo ed acciaio in barre; i problemi di durabilità delle strutture in calcestruzzo armato e le misure per garantire la vita utile di progetto della struttura; il problema della verifica della sicurezza attraverso il metodo semiprobabilistico agli stati limite, le azioni e le combinazioni di progetto, i metodi di analisi strutturale.

Il cap. 5 è dedicato, quindi, alle principali verifiche agli Stati Limite Ultimi per elementi strutturali in calcestruzzo armato. In questa sede sono state prese in considerazione esclusivamente le verifiche da condurre su tratti di elementi monodimensionali ai quali sia possibile applicare con accettabile livello di approssimazione la teoria tecnica della trave, limitandoci ad esaminare problemi deformativi piani; in quest'ottica sono state presentate questioni di progetto e verifica a flessione retta, semplice e composta, e a taglio, evitando volutamente di trattare la presso/tenso flessione deviata, il taglio lungo direzioni diverse dalle direzioni principali d'inerzia per la sezione, lo stato limite ultimo di punzonamento per elementi piastra e lo stato limite ultimo di torsione. Non sono stati considerati, poi, i problemi di verifica di resistenza relativi alle zone di discontinuità geometrica e meccanica, per i quali si richiede la formulazione di specifici modelli di comportamento locale.

Il cap. 6 si concentra sulle verifiche agli stati limite di esercizio: stato limite di tensione, di fessurazione e di deformazione. Nel capitolo vengono esaminati sia aspetti teorici che pratici legati a questo tipo di verifiche, introducendo, quando ritenuti opportuni, alcuni spunti di semplificazione delle procedure proposte dall'EC2, pur conservando la *ratio* della norma. Anche in questo caso lo studio è rivolto ai soli problemi piani.

Il cap. 7 presenta una introduzione e guida operativa all'impiego di CESCO CONCRETE. Il programma è molto semplice da usare, ma nondimeno si consiglia di sfogliare e consultare questo capitolo almeno per quanto riguarda la attivazione del programma, la assistenza, le successive versioni, e le avvertenze legate alle verifiche.

Il cap. 8 presenta una serie di esempi applicativi, svolti a mano e raffrontando poi i risultati con quelli ottenuti da CESCO CONCRETE. Tale capitolo costituisce quindi anche una sorta di validazione del programma per quanto attiene agli algoritmi di verifica (la parte di calcolo degli spostamenti e delle azioni interne, invece, ha ormai subito il battesimo del fuoco da quasi dieci anni, ed è stata usata da centinaia e centinaia di utenti anche in varie università, derivando, come deriva, dal programma CESCO, parte del pacchetto ESTRADA. Non necessita quindi di particolari validazioni essendo rimasta identica a quella degli altri CESCO, WOOD e STEEL).

PANORAMICA

L'*Eurocodice 2* è una norma europea dedicata alla progettazione di strutture in calcestruzzo relative ad opere di ingegneria civile; essa è parte integrante di un corpo normativo più vasto, a carattere organico, che costituisce il sistema degli *Eurocodici*; questo sistema normativo si propone di fornire all'attività progettuale, in armonia con l'attuale stato di avanzamento della tecnologia e delle conoscenze, gli strumenti di riferimento per garantire gli standard desiderati in ambito europeo alle prestazioni delle strutture più diffuse nel campo delle costruzioni civili, favorendo la convergenza dei criteri e delle regole di progettazione e di calcolo strutturale all'interno dell'Unione Europea.

Da un punto di vista teorico ed applicativo, l'*Eurocodice 2* si basa sul metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Questo metodo ha avuto notevole diffusione e graduale evoluzione nella seconda metà del secolo scorso, sotto la spinta di una comunità tecnico-scientifica "insofferente dei vecchi regolamenti di progettazione strutturale, particolarmente per le strutture in calcestruzzo"¹; dopo una notevole attività prenormativa di ricerca e sintesi teorica, formalizzata nelle raccomandazioni CEB del 1964, nelle raccomandazioni CEB-FIP del 1970 e, soprattutto, nel Model Code del 1978 (successivamente aggiornato dal Model Code del 1990), il metodo agli stati limite ha trovato ampio spazio nella costruzione, a partire dal 1979, dei fondamenti teorici del sistema normativo degli Eurocodici (dei quali l'*Eurocodice 2*, la cui prima versione è del 1984, è stato il primo testo pubblicato).

L'obiettivo del metodo è quello di stabilire se una soluzione progettuale è o non è accettabile dal punto di vista strutturale (si direbbe oggi se è o non è in grado di conseguire il desiderato livello di affidabilità strutturale), considerando razionalmente le incertezze che inevitabilmente condizionano i giudizi sulla

1. Giorgio Macchi – *Gli Eurocodici: obiettivi e risultati* (in "Moderni orientamenti di ingegneria strutturale e geotecnica" – Omaggio a Franco Levi nel 90° compleanno – Edizione FRANCOANGELI – Ricerche di tecnologia dell'architettura, 2006).



sicurezza statica e sulla funzionalità delle strutture civili. Tali incertezze riguardano l'entità e la disposizione dei carichi, le valutazioni sulla geometria e sul comportamento degli elementi e dell'intero organismo resistente, le risposte meccaniche e le risorse portanti dei materiali utilizzati nonché il loro esatto legame costitutivo (ovvero la curva esatta che lega sforzi e deformazioni).

2.1 Il quadro normativo nazionale e la normativa europea

Il quadro normativo in cui si è mossa la progettazione strutturale negli ultimi anni in Italia è stato quanto mai complesso, caratterizzato da una brusca evoluzione delle teorie e dei metodi di riferimento, recepiti dagli strumenti legislativi che gli operatori del settore, dal 1996 ad oggi, hanno visto moltiplicarsi e sovrapporsi.

Allo stato attuale, l'attività normativa nel campo delle costruzioni civili è regolamentata, in Italia, da due Leggi fondamentali:

- La Legge 5 Novembre 1971, n. 1086:
"Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- La legge 2 Febbraio 1974, n. 64:
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

In accordo con tali Leggi, l'organo competente in materia di Normativa Tecnica è il Ministero dei Lavori Pubblici (ora delle Infrastrutture e Trasporti), al quale è assegnato il compito di un continuo aggiornamento delle Norme Tecniche in relazione all'evoluzione delle conoscenze scientifiche ed al progresso tecnologico, attraverso l'approvazione, con cadenza biennale, di uno specifico Decreto, una volta sentito il parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Fino al 2003 l'unico documento normativo di riferimento per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni civili, limitatamente alle opere con strutture in calcestruzzo armato ed acciaio, era il

- D.M.LL.PP. del 9 Gennaio 1996:
"Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".

Le disposizioni previste in questo Decreto dovevano essere applicate in armonia con quelle di altri due documenti normativi:

- D.M.LL.PP. del 16 Gennaio 1996:
Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M.LL.PP. del 16 Gennaio 1996:
"Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche".

Ulteriori strumenti, a carattere esplicativo dei suddetti documenti, erano le Circolari applicative emanate dallo stesso Ministero dei Lavori Pubblici:

- Circolare 4 Luglio 1996, n. 156/AA.GG./S.T.C.:
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al Decreto Ministeriale 16 Gennaio 1996.
- Circolare 15 Ottobre 1996, n. 252/AA.GG./S.T.C.:
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al Decreto Ministeriale 9 Gennaio 1996.
- Circolare 10 Aprile 1997, n. 65/AA.GG.:
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al Decreto Ministeriale 16 Gennaio 1996.

Tale sistema di norme aveva in gran parte recepito l'evoluzione scientifica nel campo della sicurezza strutturale, introducendo in modo esplicito, nel D.M. del 9 Gennaio 1996, il metodo semiprobabilistico agli stati limite come strumento di conseguimento dell'affidabilità prescritta, sia pur ancora affiancato dal metodo delle tensioni ammissibili con specifico rimando al precedente D.M.LL.PP. 14 Febbraio 1992.

In queste condizioni la consuetudine progettuale è rimasta per lungo tempo tradizionalmente ancorata al metodo delle tensioni ammissibili, quanto meno per il minor onere computazionale richiesto.

L'impulso a trasformare il modo di verificare la sicurezza delle costruzioni è arrivato attraverso una rivoluzione operata nel campo normativo dell'ingegneria sismica; senza seguire l'iter tradizionale è stata approvata a partire dal 2003 una serie di documenti, l'Ordinanza del Presidente del Consiglio n.



3274 e le sue successive modifiche (in particolare la O.P.C.M. 3431/2005), che di fatto già non consentivano più di effettuare le verifiche alle tensioni ammissibili per strutture in zona sismica da realizzare sul territorio italiano.

L'esigenza di riportare le procedure di normazione tecnica alla competenza del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, in accordo con la Legge n. 1086/71, ha portato alla successiva emissione di un nuovo Decreto Ministeriale, il D.M. 14 Settembre 2005, con il quale gli organi preposti si sono dati l'obiettivo ambizioso di riorganizzare in maniera sistematica il complesso delle norme tecniche italiane nella forma di un Testo Unico sulle Costruzioni. In questo documento è evidente il ruolo di centralità svolto dal metodo degli stati limite, nonostante, limitatamente ad alcune strutture di edifici ordinari con modesta capacità di sviluppare comportamenti plastici, sicuramente non situati in zona sismica, si rendeva ancora possibile l'utilizzo di un metodo di "verifica alle tensioni".

Oltre a recepire il metodo degli stati limite come strumento principe della verifica di sicurezza strutturale, il nuovo Testo Unico si proponeva come norma di tipo "prestazionale", in opposizione al carattere "prescrittivo" di tutte le norme che lo hanno preceduto. Questa prerogativa fa in modo che le norme tecniche italiane assumano la filosofia di approccio che, già presente in alcuni Paesi europei, si è affermata nell'ambito degli Eurocodici.

A seguito di un ampio dibattito, il D.M. 14 Settembre 2005, il Testo Unico sulle Costruzioni, è stato aggiornato alla luce del nuovo D.M. 14 Gennaio 2008, per il quale è stato previsto un significativo periodo di coesistenza con l'insieme di tutte le normative preesistenti.

Un'ampia Circolare applicativa delle NTC 2008, la Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, C.S.LL.PP., infine, integra e spiega in modo più dettagliato le indicazioni fornite dal Testo del Decreto.

Questo processo di trasformazione, certo non indolore e non privo di difetti e problemi, ha avuto lo scopo di allineare le Norme Tecniche italiane con quelle degli altri Paesi europei sulla base degli attuali principi di affidabilità e sicurezza strutturale, portando la Legislazione tecnica del nostro paese ad una completa armonizzazione con gli Eurocodici.

Questo cammino si muove gradualmente nella direzione indicata dalla stessa Commissione Europea, per la quale la coesistenza di normative nazionali ed Eurocodici potrà essere ammessa solo fino al 2010.

Gli Eurocodici rappresentano il futuro, quindi, per quanto riguarda il riferimento normativo della progettazione strutturale e la loro adozione potrà dare un forte slancio all'apertura del mercato dei servizi d'ingegneria e degli appal-

ti di lavori oltre i confini di ogni singolo Stato Membro, molto più di quanto non sia stato fino ad oggi possibile, in accordo con gli obiettivi di libera circolazione di beni e servizi in tutto territorio europeo.



2.2 Struttura degli Eurocodici

Gli Eurocodici sono un insieme di Norme Europee (European Standards) per la progettazione di edifici ed altre opere di ingegneria civile. Essi coprono in modo il più possibile esaustivo tutti i maggiori campi dell'ingegneria strutturale e trattano una gamma molto vasta di tipologie costruttive e di materiali.

Per comprendere l'estensione del progetto europeo si fornisce, di seguito, un prospetto che riporta la struttura generale degli Eurocodici disponibili, la rispettiva sigla identificativa nell'ambito del *corpus* normativo, le parti in cui ciascun documento si articola ed i relativi argomenti:

DOCUMENTO	SIGLA IDENTIFICATIVA	TITOLO
Eurocodice 0	EN 1990	<i>Eurocode 0: Basis of structural design</i>
Eurocodice 1	EN 1991-1-1	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight and imposed loads</i>
	EN 1991-1-2	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire</i>
	EN 1991-1-3	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads</i>
	EN 1991-1-4	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions</i>
	EN 1991-1-5	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions</i>
	EN 1991-1-6	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-6: General actions – Actions during execution</i>
	EN 1991-1-7	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions</i>
	EN 1991-2	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges</i>
	EN 1991-3	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 3: Actions induced by cranes and machinery</i>
	EN 1991-4	<i>Eurocode 1: Actions on structures – Part 4: Silos and tanks</i>

(segue)

DOCUMENTO	SIGLA IDENTIFICATIVA	TITOLO
Eurocodice 2	EN 1992-1-1	<i>Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General – Common rules for building and civil engineering structures</i>
	EN 1992-1-2	<i>Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1992-2	<i>Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 2: Bridges</i>
	EN 1992-3	<i>Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures</i>
Eurocodice 3	EN 1993-1-1	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings</i>
	EN 1993-1-2	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings</i>
	EN 1993-1-3	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1993-1-4	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General – Cold formed thin gauge members and sheeting</i>
	EN 1993-1-5	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-4: General – Structures in stainless steel</i>
	EN 1993-1-6	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General – Strength and stability of planar plated structures without transverse loading</i>
	EN 1993-1-7	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-6: General – Strength and stability of shell structures</i>
	EN 1993-1-8	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-7: General – Design values for plated structures subjected to out of plane loading</i>
	EN 1993-1-9	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: General – Design of joints</i>
	EN 1993-1-10	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-9: General – Fatigue strength</i>
	EN 1993-1-11	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-10: General – Material toughness and through thickness assessment</i>
	EN 1993-1-12	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-11: General – Design of structures with tension components</i>

(segue)

DOCUMENTO	SIGLA IDENTIFICATIVA	TITOLO
(segue) Eurocodice 3	EN 1993-2	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-12: General - Supplementary rules for high strength steels</i>
	EN 1993-3-1	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2-1: Bridges</i>
	EN 1993-3-2	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3-1 Towers, masts and chimneys – Towers and masts</i>
	EN 1993-4-1	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3-2: Towers, masts and chimneys – Chimneys</i>
	EN 1993-4-2	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 4-1: Silos, tanks and pipelines – Silos</i>
	EN 1993-4-3	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 4-2: Silos, tanks and pipelines – Tanks</i>
	EN 1993-5	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 4-3: Silos, tanks and pipelines – Pipelines</i>
EN 1993-6	<i>Eurocode 3: Design of steel structures – Part 5: Piling</i>	
Eurocodice 4	EN 1994-1-1	<i>Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings</i>
	EN 1994-1-2	<i>Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1994-2	<i>Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Bridges</i>
Eurocodice 5	EN 1995-1-1	<i>Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings</i>
	EN 1995-1-2	<i>Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1995-2	<i>Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges</i>
Eurocodice 6	EN 1996-1-1	<i>Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-1: General – Rules for reinforced and unreinforced masonry, including lateral loading</i>
	EN 1996-1-2	<i>Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1996-2	<i>Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 2: Selection and execution of masonry</i>
	EN 1996-3	<i>Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 3: Simplified calculation methods for masonry structures</i>



(segue)

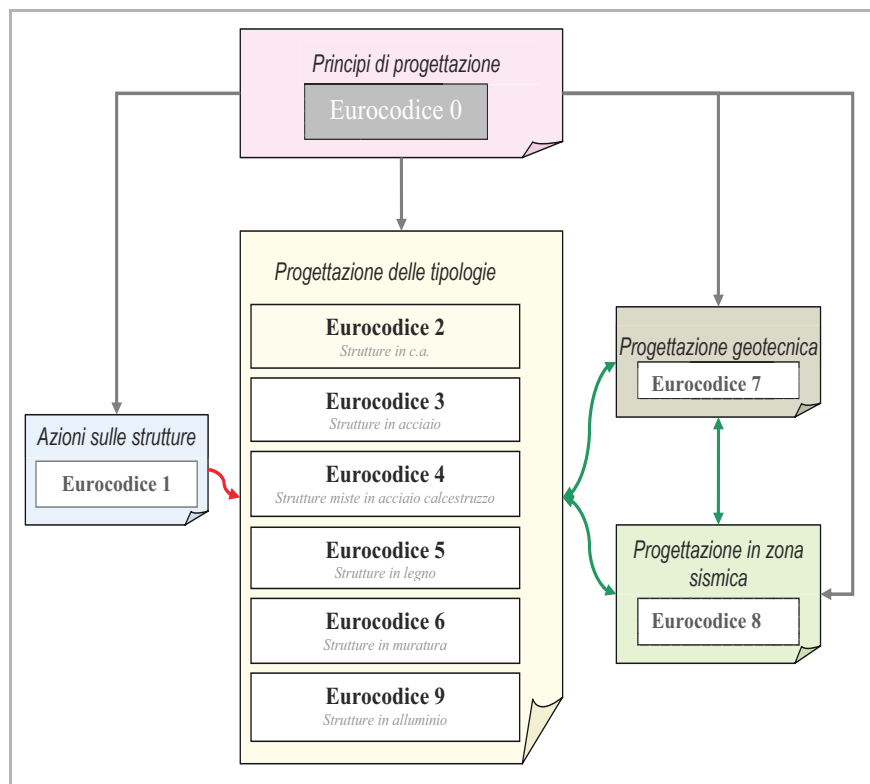
DOCUMENTO	SIGLA IDENTIFICATIVA	TITOLO
Eurocodice 7	EN 1997-1	<i>Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules</i>
	EN 1997-2	<i>Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing</i>
Eurocodice 8	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings</i>
	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges</i>
	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Strengthening and repair of buildings</i>
	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 4: Silos, tanks and pipelines</i>
	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects</i>
	EN 1998-1	<i>Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 6: Towers, masts and chimneys</i>
Eurocodice 9	EN 1999-1-1	<i>Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-1: General – Common rules</i>
	EN 1999-1-2	<i>Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-2: General – Structural fire design</i>
	EN 1999-1-3	<i>Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-3: Additional rules for structures susceptible to fatigue</i>
	EN 1999-1-4	<i>Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-4: Supplementary rules for trapezoidal sheeting</i>
	EN 1999-1-5	<i>Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-5: Supplementary rules for shell structures</i>

Come si può notare, il progetto Eurocodici risulta estremamente ampio ed ambizioso; i diversi testi sono strutturati in modo molto articolato per cui l'approccio a ciascuno di essi richiede un approfondimento graduale delle diverse parti.

2.2.1 Inquadramento dell'EC2 nell'organizzazione degli Eurocodici

Rimandando ad altri testi i necessari approfondimenti, si ritiene utile, in questa sede, fornire una illustrazione semplificata dell'organizzazione degli Euroco-

dici, per individuare la collocazione dell'EC2 all'interno del sistema normativo ed il suo rapporto con le altre norme.



In accordo con lo schema precedente, è possibile individuare una norma di riferimento generale, l'Eurocodice 0, con la quale vengono stabiliti i principi base di sicurezza strutturale adottati nell'intero complesso normativo e vengono fissate le definizioni fondamentali di *affidabilità strutturale*, *vita utile di progetto*, *durabilità*, oltre alle regole per la *gestione della qualità*.

E' nell'EC0 che si definiscono i requisiti di idoneità per il comportamento di una struttura durante il suo ciclo di vita e che si stabiliscono i relativi criteri di verifica, da una parte attraverso l'esame delle potenziali condizioni "pericolose", messe a fuoco con l'introduzione del concetto di Stato Limite, e dall'altra attraverso l'impostazione delle procedure per la valutazione di conformità della struttura ai livelli di sicurezza assunti, facendo riferimento al cosiddetto metodo dei coefficienti parziali.

Nell'ambito di tale metodo la valutazione dell'affidabilità strutturale vuole essere effettuata prendendo parzialmente in considerazione la natura aleato-

ria delle variabili che reggono il problema progettuale, anche se lo sviluppo operativo delle attività di calcolo non richiede una specifica preparazione in campo probabilistico, in quanto gli aspetti probabilistici restano “nascosti” nella scelta, a monte, dei cosiddetti valori caratteristici e dei coefficienti parziali di sicurezza. Di fatto si usano modelli deterministici e formule teoriche chiuse che però impiegano grandezze moltiplicate per coefficienti parziali di sicurezza, i quali tengono appunto in conto le incertezze legate alla aleatorietà di tutti i termini del problema allo studio. Proprio dal fatto di impiegare un modello ibrido, in parte deterministico, in parte aleatorio, deriva l’aggettivo “semiprobabilistico” che è proprio di questo modo di calcolare.

Questo modo di operare, conosciuto come “Metodo semiprobabilistico agli Stati Limite”, si applica a tutti gli Eurocodici, dall’EC2 all’EC9, una volta definiti i modelli delle azioni esterne ed i valori caratteristici o nominali delle rispettive intensità; tali modelli sono definiti all’interno dell’Eurocodice 1.

Quindi, tutte le altre norme, e tra queste, ovviamente, l’Eurocodice 2, per poter essere praticamente applicate, devono far riferimento in primo luogo all’EC0 e poi all’EC1.

Altre due norme specifiche, l’Eurocodice 8 e l’Eurocodice 7, riguardano rispettivamente la progettazione di strutture civili da realizzare in zone sismiche e la progettazione geotecnica; queste devono essere utilizzate insieme ai codici dedicati alle diverse tipologie costruttive.

Pertanto, la progettazione di strutture in c.a. ai sensi degli Eurocodici viene supportata, oltre che dall’EC2 per quanto riguarda il sistema resistente ed i suoi elementi, anche dall’EC0 per la definizione delle combinazioni di progetto, dall’EC1 per la definizione delle azioni, dall’EC7 per il progetto geotecnico delle fondazioni e delle parti interagenti con il terreno; inoltre, se la struttura ricade in zona sismica (come accade praticamente per tutte le opere realizzate sul territorio italiano), dall’EC8, sia per la definizione delle azioni sismiche che per la formulazione delle regole specifiche di dimensionamento e di dettaglio delle elevazioni, delle fondazioni, delle opere di sostegno.

2.2.2 *Principi e regole di applicazione*

I vari punti in cui si articolano i diversi Eurocodici sono presentati in forma di Principi o di Regole di applicazione. I principi sono identificati da una lettera P che segue il numero del paragrafo; le regole di applicazione sono identificate da un numero tra parentesi.

I Principi sono ipotesi o definizioni generali fondamentali, per i quali non sono previste alternative; essi possono essere espressi anche in forma di specifici requisiti o di modelli analitici di riferimento dai quali non è possibile derogare.

Le Regole di applicazione, al contrario, riguardano il riferimento a metodi generalmente accettati che sono stati sviluppati in accordo con i Principi e che permettono di soddisfare i loro requisiti. E' pertanto possibile utilizzare metodi e procedure progettuali differenti dalle Regole di applicazione, a patto che ne sia dimostrata la validità in termini di accordo con i relativi Principi e l'equivalenza con le stesse Regole di applicazione nei riguardi della sicurezza, della funzionalità e della durabilità della struttura.

2.2.3 Le Appendici Nazionali (National Annexes)

La possibilità di applicare gli Eurocodici all'interno di ciascuno Stato Membro della Comunità Europea è legata alla necessità di accompagnare il testo base con un'Appendice Nazionale. L'introduzione di tale documento ha lo scopo fondamentale di garantire l'autonomia di ogni Stato nella definizione del livello di sicurezza strutturale per le opere realizzate sul territorio nazionale, in primo luogo mediante una propria calibrazione dei coefficienti parziali di sicurezza.

In quest'ottica esiste, all'interno di ogni Eurocodice, un insieme di parametri che devono essere fissati a livello nazionale (Parametri Nazionali), per i quali il testo base fornisce esclusivamente una raccomandazione: spetta a ciascuno Stato Membro stabilire il valore di riferimento di tali parametri o scegliere un metodo progettuale quando ne siano previsti diversi alternativi, conservando totale coerenza delle scelte tra i diversi Eurocodici applicabili contemporaneamente nell'attività progettuale.

Con riferimento all'EC2, nella sua ultima versione EN1992, in Italia non è ancora disponibile il testo definitivo dell'Appendice Nazionale; per quanto riguarda la parte EN1992-1-1 è possibile soltanto consultare un documento istruttorio a carattere provvisorio, e quindi ancora privo della necessaria ufficialità. Nel seguito, i riferimenti a questo documento istruttorio sono relativi alla versione del 28/01/2008.

Allo stato attuale si dispone in Italia dell'Appendice Nazionale per la sola versione provvisoria ENV1992-1-1 dell'EC2, in virtù della Sezione III del D.M. 9 gennaio 1996.

A parere di chi scrive ciò non toglie alcun valore alla Norma, né la rende meno applicabile o autorevole. I valori raccomandati, infatti, sono spesso i valori in uso nei Paesi a noi confinanti, che già usano l'EC2. Inoltre, l'esame delle NTC 2008

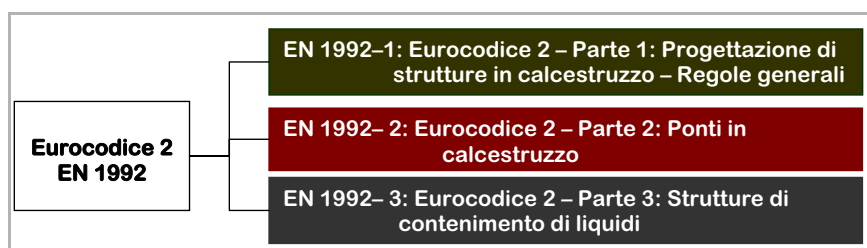


mostra quale di fatto sia stata la scelta del Normatore, posto che comunque vi è un elevato parallelismo tra il testo delle NTC 2008 e quello dell'Eurocodice 2 (pur con differenze ben riscontrabili, non sempre chiaramente motivate).

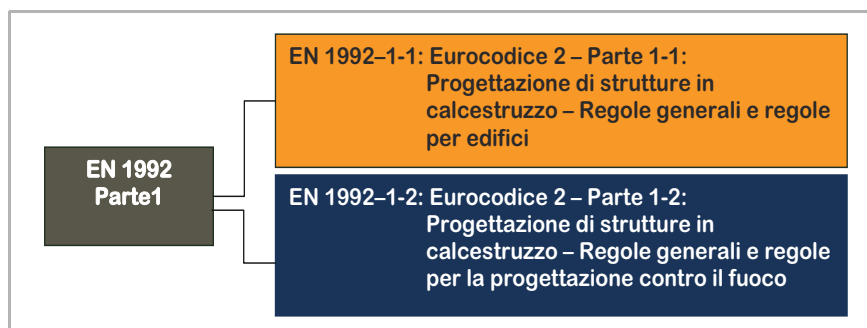
2.3 Struttura dell' Eurocodice 2

L'Eurocodice 2 è la norma europea dedicata alle strutture in calcestruzzo. La sua struttura è stata modificata negli anni e l'ultima versione è quella della Norma europea EN 1992, resa disponibile nel nostro Paese dall'UNI; la sola Parte 1-1 della EN 1992 è stata tradotta in Italiano a cura dell'UNI nel 2005 (UNI EN 1992-1-1:2005).

Questa Norma è costituita di tre parti fondamentali di seguito schematicamente presentate:



La Parte 1 della EN 1992, che rappresenta la parte di maggior interesse in quanto espone le "regole generali" per la progettazione delle strutture in calcestruzzo, è stata ulteriormente divisa:



Nel seguito si prenderà in considerazione la sola sottoparte 1-1, che espone le regole di progetto e verifica delle strutture in calcestruzzo per gli edifici; non verrà invece trattata la Parte 1-2, che riguarda, in modo specifico, i problemi di resistenza al fuoco delle stesse tipologie strutturali, per la trattazione del quale occorrerebbe un volume a sé stante.

2.4 L'Eurocodice 2 – Parte 1-1: contenuti, organizzazione, struttura

La EN 1992-1-1 (Eurocodice 2 – Parte 1-1) è dedicata alle regole generali di progettazione delle opere in calcestruzzo, con particolare attenzione alle strutture destinate agli edifici.

Essa stabilisce i criteri generali di verifica con il metodo dei coefficienti parziali, i modelli di comportamento meccanico di riferimento per i materiali, le accortezze necessarie a garantire la durabilità, i metodi di analisi strutturale che è possibile adottare, le raccomandazioni di dettaglio esecutivo, focalizzando l'attenzione soprattutto sulle strutture in calcestruzzo armato, ordinario e precompresso, senza trascurare quelle in cui si prevede l'uso di calcestruzzo con aggregati leggeri e quelle in calcestruzzo non armato o debolmente armato.

La EN 1992-1-1 è organizzata in dodici Sezioni e dieci Appendici, di cui nove a carattere informativo ed una, l'Appendice C, che è dedicata alle proprietà delle armature conformi all'applicazione dell'EC2, a carattere normativo.

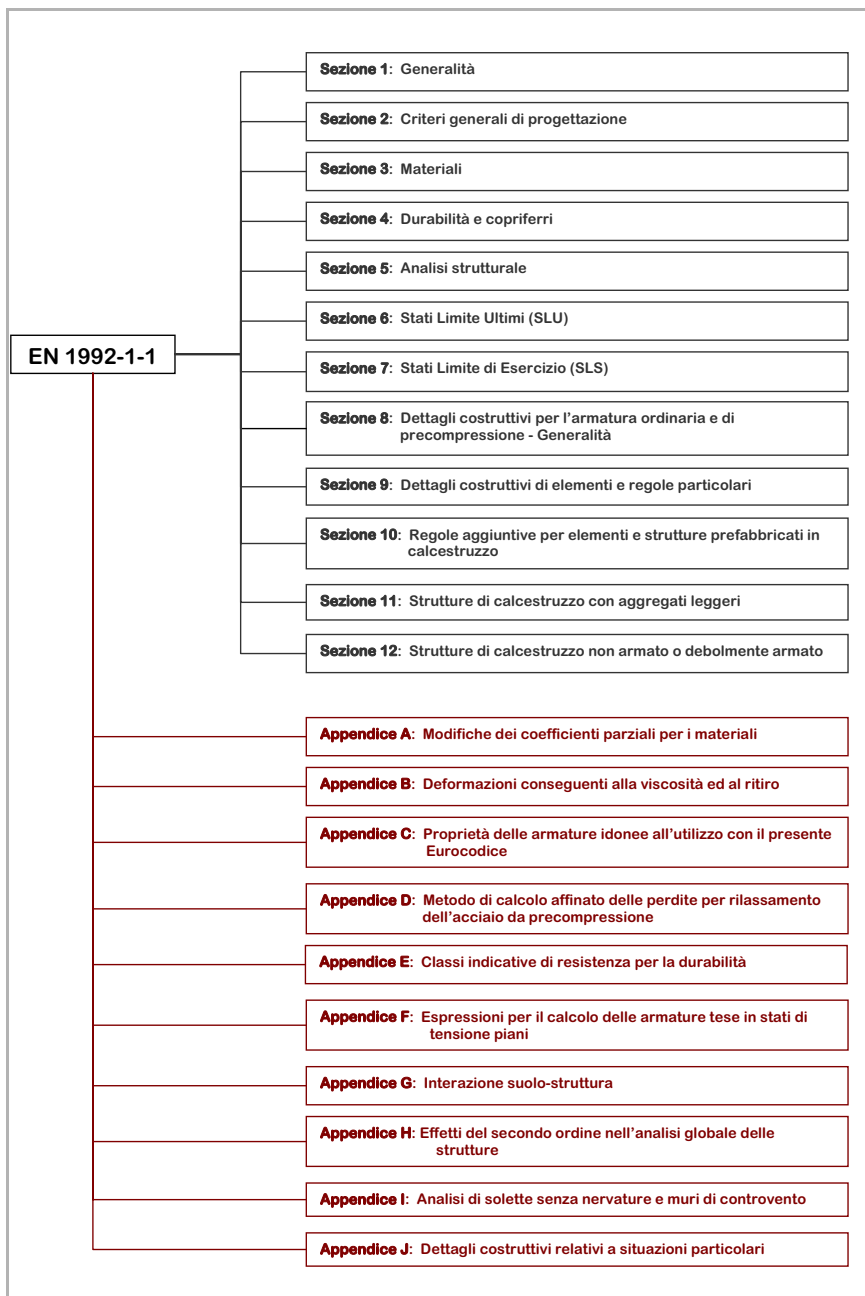
Nella Figura 2.1 si riporta una sintesi schematica della struttura del documento, evidenziando i contenuti delle diverse Sezioni ed Appendici.

La *Sezione 1* definisce in primo luogo lo scopo ed il campo di applicazione dell'intero Eurocodice 2 e quindi della relativa Parte 1-1; in particolare viene evidenziato come la Parte 1-1 della EN 1992 **non** tratti:

- Strutture in calcestruzzo armato con barre lisce;
- La resistenza al fuoco;
- Aspetti particolari di speciali tipologie di edifici (come gli edifici alti);
- Aspetti particolari di speciali tipologie di opere di ingegneria civile (come viadotti, ponti, dighe, serbatoi in pressione, piattaforme offshore o strutture di contenimento di liquidi);
- Elementi strutturali in calcestruzzo privo di aggregati fini, in calcestruzzo areato, in calcestruzzo ottenuto con aggregati pesanti, in calcestruzzo che ingloba sezioni strutturali in acciaio (per i quali è necessario far riferimento all'Eurocodice 4).



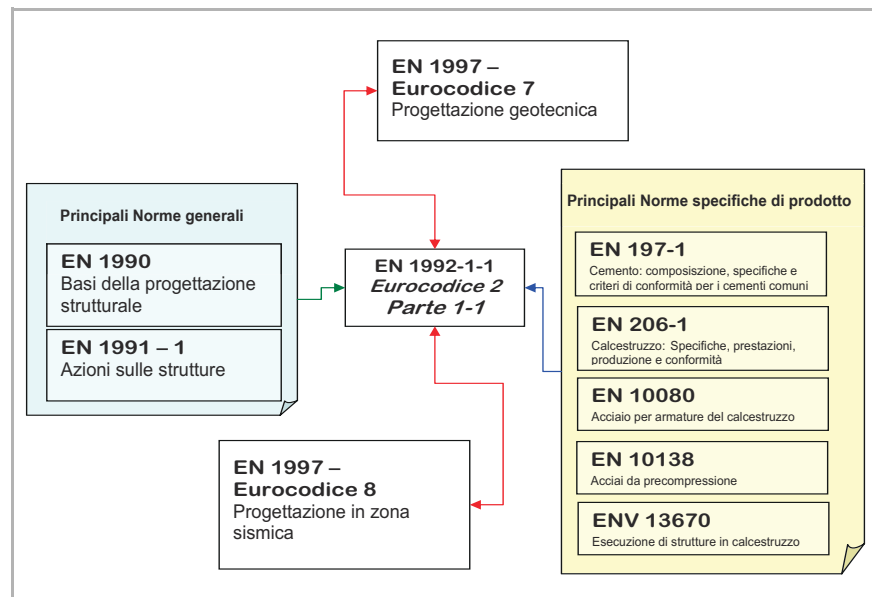
Figura 2.1
Struttura
generale della
EN 1992-1-1



In questa Sezione, inoltre, si evidenziano i necessari riferimenti sia alle Norme di carattere generale che a quelle di carattere specifico e si sottolineano le ipotesi assunte per quanto riguarda la competenza del personale addetto alla pro-

gettazione ed alla realizzazione delle opere, l'adeguata supervisione e controllo di qualità negli stabilimenti, negli impianti e nei cantieri, l'adeguata manutenzione dell'opera, l'utilizzo del manufatto in accordo con le prescrizioni progettuali. Vengono inoltre presentati i termini e le definizioni di base, assieme alla simbologia adottata nel documento.

Nello schema seguente vengono esposti i principali riferimenti normativi presi in considerazione nella Sezione 1.



La Sezione 2 sviluppa, riprendendo i temi fondamentali della EN 1990 (Eurocodice 0), i principi di base della progettazione agli Stati Limite, precisando la necessità di far riferimento all'Eurocodice 1 (EN 1991) per quanto riguarda la definizione delle azioni caratteristiche ed evidenziando le accortezze da adottare nel caso specifico di strutture in calcestruzzo; in questo capitolo vengono inoltre fissati i valori di riferimento per i coefficienti parziali dei materiali per le verifiche agli stati limite ultimi.

La Sezione 3 è totalmente dedicata alle proprietà dei materiali (calcestruzzo, acciai per armature ordinarie ed acciai per armature di precompressione) ed alla modellazione del loro comportamento meccanico ai fini delle analisi strutturali, della valutazione della resistenza di progetto, della duttilità degli elementi.

Nella Sezione 4 si prendono in considerazione le misure tecnologiche da adot-



tare in fase progettuale per garantire la durabilità richiesta alla struttura in esame, in funzione della sua classe di esposizione; tali accorgimenti impongono limiti minimi alle classi di resistenza dei calcestruzzi ed allo spessore di ricoprimento delle armature (quindi al copriferro di calcolo) nel caso di strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso. Questi limiti vengono messi a confronto con i valori minimi del copriferro richiesti per la trasmissione degli sforzi per aderenza; da questo confronto viene fissato il valore minimo del copriferro nel progetto dell'opera.

La *Sezione 5* riguarda l'analisi strutturale; vengono esaminate le modalità di definizione del modello geometrico e del modello meccanico della struttura ed i metodi di calcolo nei casi di analisi elastico-lineare, analisi elastica con ridistribuzione, analisi plastica ed analisi non lineare, prendendo in considerazione anche le situazioni in cui si rende necessario tener conto delle non linearità geometriche.

La *Sezione 6* prende in considerazione le modalità di verifica agli SLU riguardanti sia regioni di elementi monodimensionali, piastre o elementi simili privi di discontinuità, sia zone di transizione, ad esempio in prossimità di appoggi, zone nodali di elementi interconnessi o tratti in corrispondenza dei punti di applicazione di carichi concentrati. Nel primo caso vengono sviluppati i procedimenti di verifica a flessione composta, a taglio, a torsione, a punzonamento; nel secondo caso vengono considerati i modelli puntone-tirante. Vengono inoltre prese in esame le verifiche degli ancoraggi e delle sovrapposizioni, si considera la verifica rispetto alle pressioni localizzate e si dettagliano le verifiche a fatica.

La *Sezione 7* prende in esame le verifiche agli SLE, mentre le *Sezioni 8 e 9* sono dedicate ai particolari costruttivi; in particolare la *Sezione 8* si interessa di questioni di carattere generale, come la regolamentazione degli interferri, delle piegature delle barre, degli ancoraggi, delle sovrapposizioni e dei dispositivi meccanici di giunzione, la *Sezione 9* di questioni specifiche riguardanti le diverse tipologie di elementi strutturali, come la definizione dei minimi di armatura longitudinale e trasversale e le disposizioni esecutive.

Infine le *Sezioni 10, 11 e 12* trattano rispettivamente le raccomandazioni aggiuntive per la progettazione di strutture prefabbricate in calcestruzzo, le norme di progettazione per strutture in calcestruzzo con aggregati leggeri, le norme di progettazione per strutture in calcestruzzo non armato o debolmente armato.

2.5 NTC 2008 ed Eurocodice 2

Le NTC 2008 trattano la progettazione di strutture in calcestruzzo nel Capitolo 4 – Punto 4.1, per quanto riguarda la definizione delle regole di calcolo, e nel Capitolo 11 – Punti 11.2 e 11.3, per quanto riguarda la definizione dei parametri meccanici di riferimento per i materiali.

Le prescrizioni previste nei due codici risultano nel complesso assai simili, sia per quanto riguarda le formulazioni che per quanto riguarda la scelta dei parametri significativi per il calcolo delle resistenze (coefficienti moltiplicativi, coefficienti di sicurezza, ecc.), sia per quanto riguarda le procedure di verifica agli SLU. Qualche elemento in più viene fornito per le verifiche agli SLE, in particolare per la definizione dei valori limite di apertura delle fessure nel caso delle verifiche a fessurazione.

Data la somiglianza delle due Norme ci si chiede perché non recepire, con adeguate istruzioni e Commenti, direttamente l'Eurocodice 2. Forse l'intento del Normatore è stato quello di rendere il passaggio meno brusco, e quindi in qualche modo di preparare il terreno a ciò che comunque dovrà arrivare. Tale decisione comporta due transizioni anziché una, ed una serie di problemi legati a piccole differenze tra le due Norme, che non consentono di dire che le NTC 2008 siano eguali all'EC2. In ogni modo, ciò che si vuole qui sottolineare, è che imparare ad usare l'EC2, e cominciare ad usarlo non può essere considerato in contrasto con le NTC 2008, dato che queste, proprio dall'EC2 hanno tratto il loro impianto di base. Questo testo è infatti diretto a chi vuole familiarizzarsi in primis con l'Eurocodice 2, avendo in mente, quando ci sono, le differenze con le NTC 2008 le quali restano, giocoforza, una riduzione ed un adattamento delle norme principali, che sono ormai gli Eurocodici.

