

Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora

Calcoli rapidi per il progettista

**CALCOLI RAPIDI PER ELEMENTI STRUTTURALI
IN CEMENTO ARMATO, ACCIAIO E LEGNO
CON IL SOFTWARE SUITE DEL CALCOLO**

VOLUME PRIMO

- Verifiche agli SLU a compressione, trazione, flessione e taglio per sezioni rettangolari in c.a.
- Verifica di fessurazione di sezioni in c.a.
- Verifica agli SLU a flessione e taglio per travi in acciaio
- Verifiche agli SLU a trazione, compressione, flessione e taglio per travi in legno
- Verifiche di instabilità per le sezioni in legno
- Verifiche di deformazione per solai in acciaio e in legno
- AI SENSI DEL D.M. 14 GENNAIO 2008 E CIRCOLARE ESPLICATIVA N. 617/2009, EUROCODICE 5 (UNI EN 1995-1-2) PER LE STRUTTURE IN LEGNO

SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO E VERIFICA DI ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO, ACCIAIO E LEGNO

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),

Test iniziale (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)

**PRONTO
GRAFILL**
Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni



Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora
CALCOLI RAPIDI PER IL PROGETTISTA

ISBN 13 978-88-8207-573-6
EAN 9 788882 075736

Manuali, 160
Prima edizione, luglio 2014
Quinta ristampa, luglio 2016

Calvo, Vincenzo <1978->

Calcoli rapidi per il progettista / Vincenzo Calvo,
Elisabetta Scalora. – Palermo : Grafill, 2014.
(Manuali ; 160)

ISBN 978-88-8207-573-6

1. Strutture – Progettazione.
624.17 CDD-22

I. Scalora, Elisabetta <1981->.
SBN PAL0272026

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di luglio 2016

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

 **PRONTO**
GRAFILL  **CLICCA per maggiori informazioni**
... e per te uno SCONTO SPECIALE

INDICE

INTRODUZIONE	p.	1
1. INQUADRAMENTO NORMATIVO	"	3
1.1. Normativa italiana	"	3
1.2. Normativa europea.....	"	4
2. IL CEMENTO ARMATO	"	6
2.1. Calcestruzzo.....	"	7
2.1.1. Resistenza a compressione.....	"	7
2.1.2. Resistenza a trazione.....	"	9
2.1.3. Modulo elastico.....	"	11
2.1.4. Coefficiente di Poisson.....	"	11
2.1.5. Coefficiente di dilatazione termica	"	12
2.1.6. Ritiro	"	12
2.1.7. Viscosità.....	"	13
2.1.8. Durabilità	"	14
2.1.9. Diagrammi di calcolo tensione-deformazione del calcestruzzo (NTC 2008)	"	14
2.1.10. Controlli di accettazione del calcestruzzo.....	"	15
2.2. Acciaio per cemento armato	"	20
2.2.1. Accertamento delle proprietà meccaniche	"	22
2.2.2. Caratteristiche dimensionali e di impiego.....	"	22
2.2.3. Reti e tralici elettrosaldati	"	23
2.2.4. Saldabilità.....	"	24
2.2.5. Tolleranze dimensionali	"	24
3. L'ACCIAIO	"	25
3.1. Prodotti siderurgici	"	25
3.2. Profilati metallici.....	"	26
3.2.1. Sezioni a doppio T	"	26
3.2.2. Sezioni a C	"	27
3.2.3. Sezioni a L.....	"	27
3.3. Imperfezioni	"	27
3.3.1. Imperfezioni meccaniche	"	27
3.3.2. Imperfezioni geometriche	"	27
3.4. Prove meccaniche sull'acciaio.....	"	27

3.4.1.	Prova di trazione	p.	28
3.4.2.	Prova di compressione globale	"	29
3.4.3.	Prova di resilienza	"	29
3.4.4.	Prova di piegamento.....	"	29
3.4.5.	Prova di durezza.....	"	29
3.4.6.	Prova a fatica.....	"	30
4.	IL LEGNO	"	31
4.1.	Il legno da costruzione.....	"	33
4.2.	Legno massiccio	"	34
4.3.	Legno lamellare	"	35
4.4.	Valutazione della sicurezza.....	"	36
4.5.	Analisi strutturale.....	"	36
4.6.	Classi di durata del carico.....	"	37
4.7.	Classi di servizio.....	"	38
4.8.	Resistenza di calcolo.....	"	38
4.9.	Collegamenti.....	"	40
4.10.	Elementi strutturali	"	42
4.11.	Sistemi strutturali.....	"	43
4.12.	Robustezza	"	44
4.13.	Durabilità	"	44
4.14.	Regole per l'esecuzione.....	"	44
5.	AZIONI E CARICHI SULLE COSTRUZIONI	"	47
5.1.	La classificazione delle azioni	"	47
5.2.	La caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	47
5.3.	Le combinazioni delle azioni.....	"	48
5.4.	Le azioni permanenti	"	49
5.5.	I carichi permanenti non strutturali.....	"	49
5.6.	I carichi variabili.....	"	50
6.	AZIONE DELLA NEVE	"	52
6.1.	Coefficiente di forma per le coperture	"	52
6.1.1.	Copertura ad una falda	"	52
6.1.2.	Copertura a due falde	"	53
6.2.	Coefficiente di esposizione	"	53
6.3.	Valore caratteristico del carico della neve al suolo	"	54
7.	AZIONE DEL VENTO	"	57
7.1.	Velocità di riferimento	"	57
7.2.	Pressione del vento	"	58
7.3.	Azione tangenziale del vento	"	59
7.4.	Pressione cinetica di riferimento.....	"	59
7.5.	Coefficiente di esposizione	"	59

7.6	Coefficiente di forma	p.	61
8.	STATI LIMITE	"	65
8.1.	Stati Limite Ultimi (SLU).....	"	65
8.2.	Stati Limite di Esercizio (SLE).....	"	66
9.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE		
	PER LE COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO	"	67
9.1.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	67
9.1.1.	Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo	"	67
9.1.2.	Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo.....	"	69
9.1.3.	Resistenza di calcolo dell'acciaio	"	69
9.1.4.	Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo	"	70
9.1.5.	Resistenza a sforzo normale e flessione (elementi monodimensionali)	"	71
9.1.6.	Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	"	74
9.1.7.	Elementi con armature trasversali resistenti al taglio	"	75
9.1.8.	Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti	"	77
9.1.9.	Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffuse e nei nodi.....	"	79
9.1.10.	Resistenza a fatica.....	"	80
9.1.11.	Verifica dell'aderenza delle barre di acciaio con il calcestruzzo.....	"	80
9.2.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)	"	80
9.2.1.	Verifiche di deformabilità.....	"	80
9.2.2.	Verifica delle vibrazioni	"	82
9.2.3.	Verifica di fessurazione	"	82
9.2.4.	Verifica delle tensioni di esercizio	"	94
9.2.5.	Verifica per situazioni transitorie	"	95
9.2.6.	Verifica per situazioni eccezionali.....	"	95
9.2.7.	Dettagli costruttivi per travi e pilastri	"	96
10.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE		
	PER LE COSTRUZIONI IN ACCIAIO	"	98
10.1.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	98
10.1.1	Resistenza di calcolo a trazione	"	98
10.1.2.	Resistenza di calcolo a compressione	"	99
10.1.3.	Resistenza di calcolo a flessione retta.....	"	99
10.1.4.	Resistenza di calcolo a taglio.....	"	101
10.1.5.	Resistenza di calcolo a torsione	"	104
10.1.6.	Resistenza di calcolo a flessione e taglio	"	104
10.1.7.	Resistenza di calcolo a presso o tenso flessione retta	"	105
10.1.8.	Resistenza di calcolo a presso o tenso flessione biassiale.....	"	105
10.1.9.	Resistenza di calcolo a flessione, taglio e sforzo assiale.....	"	106
10.2.	Stabilità delle aste compresse	"	106

10.3.	Stabilità delle travi inflesse	p.	108
10.4.	Verifiche agli stati limite di esercizio (SLE)	"	109
10.4.1.	Spostamenti verticali	"	110
10.4.2.	Spostamenti orizzontali	"	112
11.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE		
	PER LE COSTRUZIONI IN LEGNO	"	114
11.1.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	114
11.1.1.	Verifiche di resistenza	"	114
11.1.2.	Trazione parallela alla fibratura	"	115
11.1.3.	Trazione perpendicolare alla fibratura	"	117
11.1.4.	Compressione parallela alla fibratura	"	117
11.1.5.	Compressione perpendicolare alla fibratura	"	118
11.1.6.	Compressione inclinata rispetto alla fibratura	"	119
11.1.7.	Flessione	"	119
11.1.8.	Tensoflessione	"	122
11.1.9.	Pressoflessione	"	124
11.1.10.	Taglio	"	126
11.1.11.	Torsione	"	128
11.1.12.	Taglio e Torsione	"	128
11.2.	Verifiche di stabilità	"	129
11.2.1.	Elementi inflessi (instabilità di trave)	"	129
11.2.2.	Elementi compressi (instabilità di colonna)	"	131
11.3.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)	"	134
12.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE SUITE DEL CALCOLISTA	"	139
12.1.	Introduzione	"	139
12.2.	Requisiti hardware e software	"	139
12.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	139
12.4.	Installazione e attivazione del software	"	140
13.	MANUALE D'USO DEL SOFTWARE SUITE DEL CALCOLISTA	"	142
13.1.	Calcolo del giunto sismico	"	143
13.2.	Azione della neve	"	148
13.3.	Azione del vento	"	150
13.4.	Verifica saldature 1	"	151
13.5.	Verifica saldature 2	"	155
13.6.	Verifica giunti di base	"	158
13.7.	Verifica a flessione retta di una sezione in c.a.	"	164
13.8.	Calcolo dell'armatura di una sezione rettangolare compressa in c.a.	"	167
13.9.	Verifica a trazione di una sezione rettangolare in c.a.	"	170
13.10.	Verifica di fessurazione di sezioni in c.a.	"	173
13.11.	Unioni in legno	"	176
13.11.1.	Collegamento puntone-catena	"	182

13.11.2. Collegamento puntoni-monaco	p.	185
13.11.3. Collegamento puntone-saette	"	187
13.11.4. Collegamento monaco-saette	"	190
13.11.5. Connessioni acciaio-legno con una sezione resistente.....	"	192
13.11.6. Connessioni acciaio-legno con due sezioni resistenti	"	196
13.11.7. Connessioni legno-acciaio-legno a due sezioni resistenti.....	"	198
14. SAGOMARI DEI PROFILATI IN ACCIAIO	"	202
14.1. IPE	"	202
14.2. INP	"	203
14.3. HEA	"	204
14.4. HEB	"	205
14.5. HEM.....	"	206
14.6. Tubi in acciaio a sezione Quadrata	"	207
14.7. Tubi in acciaio a sezione Rettangolare	"	208
15. TABELLE DELLE CLASSI DI RESISTENZA PER IL LEGNO MASSICCIO E LAMELLARE	"	211
15.1. Classi di resistenza per legno massiccio di conifera e pioppo.....	"	211
15.2. Classi di resistenza per legno massiccio di latifoglia	"	212
15.3. Classi di resistenza per legno lamellare incollato di conifera.....	"	213
15.4. Classi di resistenza per specie legnose di provenienza italiana	"	214
GLOSSARIO	"	215
F.A.Q. DOMANDE E RISPOSTE SUI PRINCIPALI ARGOMENTI	"	217
TEST INIZIALE (verifica della formazione di base).....	"	220
TEST FINALE (verifica dei concetti analizzati).....	"	224
BIBLIOGRAFIA.....	"	228
RIFERIMENTI NORMATIVI	"	229

INTRODUZIONE

Il presente libro si configura come un manuale tecnico, per i professionisti che si occupano di progettazione strutturale che riguarda opere in cemento armato, acciaio e legno.

Il tema della progettazione strutturale nelle costruzioni è stato svolto secondo la nuova normativa nazionale, D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008) e la Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”. Per le strutture in legno la normativa italiana, risulta insufficiente e pertanto si è utilizzato l’Eurocodice 5 (UNI-EN 1995-1-2), essendo considerato nelle NTC come normativa di comprovata validità.

Il testo può essere suddiviso in tre parti: la prima contiene nozioni sui materiali da costruzione (cemento armato, acciaio e legno), la parte centrale contiene le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e agli stati limite di esercizio (SLE) per le costruzioni in cemento armato, acciaio e legno, con l’inserimento di esempi di calcolo, conferendo al volume un aspetto più pratico che teorico, come ad esempio: controlli di accettazione per il calcestruzzo, calcolo dell’azione della neve e del vento, verifiche agli SLU a compressione, trazione, flessione e taglio per sezioni rettangolari in c.a., verifica di fessurazione di sezioni in c.a., verifica agli SLU a flessione e taglio per travi in acciaio, verifiche agli SLU a trazione, compressione, flessione e taglio per travi in legno, verifiche di instabilità per le sezioni in legno, verifiche di deformazione per solai in acciaio e in legno. Infine la parte conclusiva contiene la descrizione e il manuale d’uso del software allegato *Suite del calcolista*.

Poiché le NTC 2008 richiedono al progettista strutturale la validazione dei codici di calcolo, il software allegato risulta un sostegno per il professionista per eseguire il controllo dei risultati delle elaborazioni ottenute dai programmi di calcolo; mediante il programma *Suite del calcolista* si possono calcolare e verificare velocemente elementi strutturali in cemento armato, acciaio e legno.

Arch. Elisabetta Scalora

Ing. Vincenzo Calvo

INQUADRAMENTO NORMATIVO

Il quadro normativo di riferimento per le strutture è rappresentato in Italia dal decreto legislativo 14 gennaio 2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC 2008).

Per le costruzioni in legno le NTC non sono sufficienti per la progettazione, e pertanto è consentito l’uso di normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati nel Capitolo 12 del decreto legislativo 14 gennaio 2008:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su *Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea*;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss.mm.ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle NTC.

L’Eurocodice 5, essendo il documento normativo più completo per la progettazione delle strutture in legno, è considerato come norma di comprovata validità e pertanto può essere utilizzato senza contrastare le prescrizioni delle NTC 2008, salvo l’uso dei coefficienti parziali di sicurezza per le proprietà dei materiali che devono essere quelli indicati nella normativa italiana, che sono più elevati rispetto a quelli usati negli altri paesi europei.

Ai sensi delle NTC 2008 la sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale della struttura.

1.1. Normativa italiana

Le norme tecniche per le costruzioni in Italia sono attualmente disciplinate dal D.M. 14 gennaio 2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC 2008), che definiscono i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Il D.M. 14 gennaio 2008, essendo una norma di tipo prestazionale, non prescrive procedure di calcolo dettagliate e pertanto il progettista deve scegliere i criteri da utilizzare, basandosi sempre su regole consolidate.

L'entrata in vigore di detto decreto ha apportato una serie di importanti novità riguardanti la definizione delle azioni che agiscono sulle strutture, i metodi di verifica utilizzabili e introduce i concetti di *vita nominale di progetto* e *classi d'uso*.

La vita nominale, V_N , è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (§ 2.4.1 delle NTC 2008).

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise, secondo quanto indicato nel § 2.4.2 delle NTC, in classi d'uso così definite:

- *Classe I*: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- *Classe II*: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- *Classe III*: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- *Classe IV*: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792 “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

1.2. Normativa europea

Le normative tecniche europee per le costruzioni sono gli Eurocodici che forniscono le regole di calcolo per la progettazione delle strutture (edifici e opere di ingegneria civile) e dei relativi elementi strutturali, nonché le regole per la verifica di conformità dei prodotti strutturali.

Gli Eurocodici contengono le seguenti norme:

- EN 1990: Basi di calcolo (EC 0);
- EN 1991: Azioni sulle costruzioni (EC 1);
- EN 1992: Strutture in cemento armato di sostegno (EC 2);

- EN 1993: Strutture in acciaio (EC 3);
- EN 1994: Strutture in acciaio-calcestruzzo (EC 4);
- EN 1995: Strutture in legno (EC 5);
- EN 1996: Strutture in muratura (EC 6);
- EN 1997: Geotecnica, fondazioni e opere (EC 7);
- EN 1998: Strutture in zona sismica (EC 8);
- EN 1999: Strutture in Alluminio (EC 9).

In particolare per le strutture in legno la norma di riferimento è la EN 1995 parte 1 e 2 (Eurocodice 5), che deve essere integrata con le prescrizioni contenute nell’Eurocodice 8 per la progettazione in zona sismica, dove nella prima parte si trattano gli edifici di nuova costruzione e nella terza l’adeguamento sismico degli edifici esistenti.

L’Eurocodice 5 definisce i criteri per la progettazione, il calcolo ed l’esecuzione delle strutture in legno, relativamente ai requisiti di resistenza meccanica, funzionalità, durabilità e resistenza al fuoco. Si basa sul metodo semiprobabilistico agli stati limite e le verifiche agli stati limite ultimi vanno effettuate in termini di tensioni per le gli elementi strutturali e per le sezioni lignee, e in termini di sforzi per i collegamenti.

Le verifiche agli stati limite di esercizio consistono nelle verifiche di deformabilità degli elementi strutturali, e rappresentano, in special modo per gli orizzontamenti, le verifiche determinanti nel dimensionamento della struttura.

IL CEMENTO ARMATO

Il *cemento armato* si ottiene dall'unione di due materiali: calcestruzzo e barre d'acciaio annegate al suo interno, il primo ha una buona resistenza a compressione mentre il secondo a trazione.

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo (§ 4.3 NTC 2008), questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in MPa.

La relazione che lega la resistenza cilindrica a quella cubica è fornita dall'espressione:

$$R_{ck} = f_{ck} \cdot 0,83$$

Per le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale si può fare utile riferimento a quanto indicato nelle norme UNI EN 206-1:2006 e nella UNI 11104:2004.

Sulla base della denominazione normalizzata vengono definite le classi di resistenza nella Tab. 4.1.I delle NTC 2008.

Le classi di resistenza si indicano con la sigla Cx/y , dove x ed y sono due numeri che indicano rispettivamente la resistenza cilindrica f_{ck} e la corrispondente resistenza cubica R_{ck} , ad esempio C25/30 indica un calcestruzzo con $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ e $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$.

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Classi di resistenza – Tabella 4.1.I delle NTC 2008

La normativa vigente (NTC 2008) non ammette l'uso di conglomerati di classe inferiore a C20/25.

2.1. Calcestruzzo

Il calcestruzzo è un materiale composito ottenuto mediante la miscela dei seguenti materiali:

- inerti (ghiaia e sabbia);
- cemento;
- acqua.

La ghiaia costituisce l'ossatura portante del calcestruzzo (cls), mentre l'acqua e il cemento costituiscono la pasta cementizia che consente l'unione degli inerti.

Il cemento è un materiale inorganico che miscelato con l'acqua genera una pasta cementizia (boiaccia) che rapprende ed indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione, la presa inizia dopo circa un'ora dal mescolamento del cemento con l'acqua e termina dopo qualche ora, mentre la fase di indurimento si protrae per giorni e dopo una stagionatura di 28 giorni si possono determinare le caratteristiche meccaniche.

Un metro cubo di calcestruzzo è formato da:

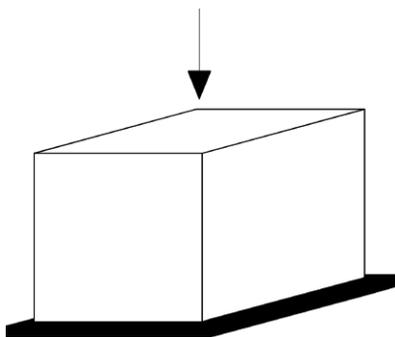
- 0,80 m³ di ghiaia;
- 0,40 m³ di sabbia;
- 300 kg di cemento;
- 120 l di acqua.

Ai fini della resistenza del cls è importante osservare sia il rapporto tra gli inerti (aggregati) fini e grossi che il rapporto acqua-cemento.

Per uso strutturale gli aggregati idonei alla produzione di calcestruzzo sono ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1 (§ 11.2.9.2 NTC 2008).

2.1.1. Resistenza a compressione

La resistenza a compressione si determina applicando una forza crescente di compressione su opportuni provini fino al raggiungimento della rottura.



Le prove di resistenza a compressione vengono effettuate su provini di calcestruzzo aventi una stagionatura di 28 giorni.

Ai sensi delle NTC 2008 § 11.2, la prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza ed il diametro massimo dell'aggregato. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica R_{ck} e cilindrica f_{ck} a compressione uniassiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm.

Al fine delle verifiche sperimentali i provini prismatici di base 150×150 mm e di altezza 300 mm sono equiparati ai cilindri di cui sopra.

Dalla resistenza cilindrica si passerà a quella cubica mediante l'espressione indicata al § 11.2.10.1 delle NTC 2008:

$$f_{ck} = R_{ck} \cdot 0,83$$

I valori caratteristici, ai fini del calcolo, devono essere trasformati in valori di calcolo, ciò si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

Le resistenze di calcolo f_d indicano le resistenze dei materiali, calcestruzzo ed acciaio, ottenute mediante l'espressione:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Dove:

f_k sono le resistenze caratteristiche del materiale;

γ_M sono i coefficienti parziali per le resistenze, comprensivi delle incertezze del modello e della geometria, che possono variare in funzione del materiale, della situazione di progetto e della particolare verifica in esame.

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione, f_{cd} , è fornita dall'espressione:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

Dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, $\alpha_{cc} = 0,85$;

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, $\gamma_c = 1,5$;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori minori di 50 mm, la resistenza di calcolo a compressione va ridotta a $0,80 \cdot f_{cd}$.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, si dovranno dare indicazioni in merito alla composizione, ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI ENV 13670-1:2001 ed alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nonché dare indicazioni in

merito alla composizione della miscela, compresi gli eventuali additivi, tenuto conto anche delle previste classi di esposizione ambientale (di cui, ad esempio, alla norma UNI EN 206-1:2006) e del requisito di durabilità delle opere.

La resistenza caratteristica a compressione è definita come la resistenza per la quale si ha il 5% di probabilità di trovare valori inferiori. Nelle NTC la resistenza caratteristica designa quella dedotta da prove su provini come sopra descritti, confezionati e stagionati come specificato al § 11.2.4 delle suddette norme, eseguite a 28 giorni di maturazione. Si dovrà tener conto degli effetti prodotti da eventuali processi accelerati di maturazione. In tal caso potranno essere indicati altri tempi di maturazione a cui riferire le misure di resistenza ed il corrispondente valore caratteristico.

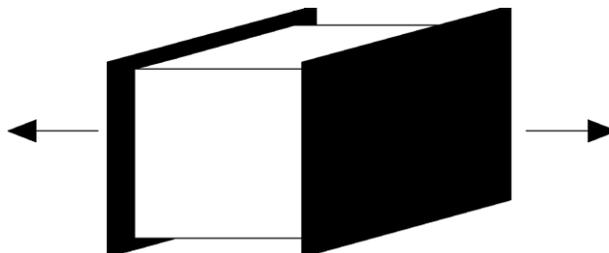
2.1.2. Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo (§ 11.2.10.2 NTC 2008) può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2002, per mezzo delle seguenti prove:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta (secondo UNI EN12390-6:2002 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione (secondo UNI EN 12390-5:2002 o metodo dimostrato equivalente).

Prova di trazione diretta

Consiste nell'applicare al provino una forza di trazione crescente sino alla rottura.



La resistenza a trazione, $f_{ct,ax}$, si calcola con la seguente relazione:

$$f_{ct,ax} = \frac{F}{A}$$

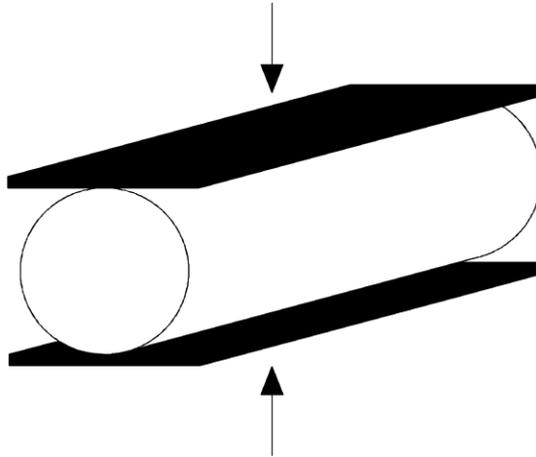
Dove:

F forza che genera la rottura del provino;

A area della sua sezione trasversale del provino.

Prova di trazione indiretta

È anche nota come *prova brasiliana* o *splitting test*, viene effettuata in modo analogo alla prova a compressione, il provino di forma cilindrica è disposto in orizzontale e le forze di compressione vengono applicate lungo due generatrici diametralmente opposte.



La resistenza a trazione, $f_{ct,sp}$, si calcola con la seguente relazione:

$$f_{ct,sp} = \frac{F}{\pi \cdot r \cdot l}$$

Dove:

F forza che genera la rottura del provino;

r raggio del provino;

l lunghezza del provino.

I valori ottenuti con la prova a trazione indiretta sono molto simili a quelli calcolati con la prova a trazione diretta, ma l'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1) al § 3.1.2 suggerisce di valutare la resistenza a trazione mediante la seguente espressione:

$$f_{ct,ax} = 0,9 \cdot f_{ct,sp}$$

In sede di progettazione, ai sensi delle NTC 2008, si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in N/mm²):

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \text{ per classi } \leq C50/60$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln 1 + \frac{f_{cm}}{10} \text{ per classi } > C50/60$$

I valori caratteristici corrispondenti ai frattili 5% e 95% sono assunti, rispettivamente, pari a $0,7 f_{ctm}$, ed $1,3 f_{ctm}$.

Prova di trazione per flessione

Consiste nell'applicare ad un provino due forze che generano una sollecitazione di flessione.

