



Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora

Apertura fori in solai di latero-cemento

CALCOLO DELLE TRAVI DI BORDO DI UN FORO IN UN SOLAIO DI LATERO-CEMENTO CON IL SOFTWARE "OPEN FLOOR"

- Calcolo di fori nei solai
- Verifiche delle travi di bordo a momento flettente
- Verifiche delle travi di bordo a momento torcente
- Relazione di calcolo
- Disegni esecutivi
- Aggiornato al D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e Circolare esplicativa 2 febbraio 2009, n. 617

SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO DELLE TRAVI DI BORDO DI UN FORO IN UN SOLAIO DI LATERO-CEMENTO (OPEN FLOOR)

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)

Vincenzo Calvo, Elisabetta Scalora

APERTURA FORI IN SOLAI DI LATERO-CEMENTO

ISBN 13 978-88-8207-566-8

EAN 9 788882 075668

Software, 78

Prima edizione, luglio 2014

© **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

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.

Indice

INTRODUZIONE.....	p.	1
1. IL CEMENTO ARMATO.....	"	3
1.1. Calcestruzzo.....	"	4
1.1.1. Resistenza a compressione.....	"	5
1.1.2. Resistenza a trazione.....	"	6
1.1.3. Modulo elastico.....	"	8
1.1.4. Coefficiente di Poisson.....	"	9
1.1.5. Coefficiente di dilatazione termica	"	9
1.1.6. Ritiro	"	9
1.1.7. Viscosità.....	"	11
1.1.8. Durabilità	"	11
1.1.9. Diagrammi di calcolo tensione-deformazione del calcestruzzo (NTC 2008)	"	12
1.2. Acciaio.....	"	13
1.2.1. Resistenza dell'acciaio.....	"	13
1.2.2. Diagrammi di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio (NTC 2008)	"	14
1.2.3. Acciaio per cemento armato	"	15
1.2.4. Accertamento delle proprietà meccaniche	"	16
1.2.5. Caratteristiche dimensionali e di impiego.....	"	16
1.2.6. Reti e tralicci elettrosaldati	"	17
1.2.7. Saldabilità.....	"	18
1.2.8. Tolleranze dimensionali	"	19
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO	"	20
3. METODI DI CALCOLO	"	22
3.1. Tensioni ammissibili	"	23
3.2. Stati Limite	"	23
3.2.1. Stati Limite Ultimi (SLU).....	"	24
3.2.2. Stati Limite di Esercizio (SLE).....	"	24
4. AZIONI E CARICHI SULLE COSTRUZIONI	"	26
4.1. La classificazione delle azioni	"	26
4.2. La caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	26

4.3.	Le combinazioni delle azioni	p.	27
4.4.	Le azioni permanenti	"	28
4.5.	I carichi permanenti non strutturali	"	28
4.6.	I carichi variabili	"	29
5.	AZIONE DELLA NEVE	"	31
5.1.	Coefficiente di forma per le coperture	"	31
5.1.1.	Copertura ad una falda	"	31
5.1.2.	Copertura a due falde	"	32
5.2.	Coefficiente di esposizione	"	32
5.3.	Valore caratteristico del carico della neve al suolo	"	33
6.	AZIONE DEL VENTO	"	35
6.1.	Velocità di riferimento	"	35
6.2.	Pressione del vento	"	36
6.3.	Azione tangenziale del vento	"	37
6.4.	Pressione cinetica di riferimento	"	37
6.5.	Coefficiente di esposizione	"	37
7.	ANALISI STRUTTURALE	"	40
7.1.	Analisi elastica lineare	"	40
7.2.	Analisi plastica	"	41
7.3.	Analisi non lineare	"	41
7.4.	Effetti delle deformazioni	"	41
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	"	43
8.1.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	43
8.1.1.	Resistenze di calcolo dei materiali	"	43
8.1.2.	Resistenza a sforzo normale e flessione (elementi monodimensionali)	"	44
8.1.3.	Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	"	45
8.1.4.	Elementi con armature trasversali resistenti al taglio	"	46
8.1.5.	Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti	"	48
8.1.6.	Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi	"	50
8.1.7.	Resistenza a fatica	"	51
8.1.8.	Verifica dell'aderenza delle barre di acciaio con il calcestruzzo	"	51
8.2.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)	"	51
8.2.1.	Verifiche di deformabilità	"	51
8.2.2.	Verifica delle vibrazioni	"	53
8.2.3.	Verifica di fessurazione	"	53
8.2.4.	Verifica delle tensioni di esercizio	"	58
8.2.5.	Verifica per situazioni transitorie	"	59

8.2.6.	Verifica per situazioni eccezionali.....	p.	59
8.2.7.	Dettagli costruttivi per travi e pilastri	"	60
9.	SOLAI IN CEMENTO ARMATO.....	"	62
9.1.	Solai misti in c.a. e blocchi forati in laterizio	"	63
9.1.1.	Regole generali e caratteristiche minime dei blocchi	"	63
9.1.2.	Limiti dimensionali	"	64
9.1.3.	Caratteristiche fisico-meccaniche	"	64
9.1.	Modellazione strutturale	"	64
9.3.	Progettazione	"	65
9.3.1.	Spessore minimo dei solai.....	"	65
9.3.2.	Modulo elastico di calcolo	"	65
9.3.3.	Spessore minimo della soletta.....	"	65
9.3.4.	Larghezza ed interasse delle nervature	"	65
9.3.5.	Armatura trasversale	"	66
9.3.6.	Armatura longitudinale	"	66
10.	FORO NEL SOLAIO.....	"	67
10.1.	Calcolo di un foro realizzato con quattro travi a spessore.....	"	67
11.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE OPEN FLOOR.....	"	76
11.1.	Introduzione.....	"	76
11.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	76
11.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	76
11.4.	Installazione e attivazione del software	"	77
12.	MANUALE D'USO DEL SOFTWARE OPEN FLOOR.....	"	81
12.1.	Comando [Nuovo]	"	82
12.2.	Comando [Apri].....	"	82
12.3.	Comando [Salva]	"	82
12.4.	Comando [Dati Generali].....	"	82
12.3.	Comando [Materiali].....	"	83
12.4.	Comando [Dati solaio].....	"	84
12.5.	Comando [Dati sul foro].....	"	85
12.6.	Comando [Analisi dei carichi].....	"	86
12.7.	Comando [Azioni di calcolo].....	"	89
12.8.	Comando [Relazione di calcolo].....	"	91
12.9.	Comando [Crea esecutivi dxf]	"	92
12.10.	Comando [Aggiornamenti].....	"	92
12.11.	Comando [Informazioni]	"	93
ESEMPIO DI RELAZIONE PER IL CALCOLO DI UN FORO			
SU UN SOLAIO (elaborata mediante il software OPEN FLOOR).....			
		"	95

GLOSSARIO	p.	105
F.A.Q. DOMANDE E RISPOSTE SUI PRINCIPALI ARGOMENTI	"	107
TEST INIZIALE (verifica della formazione di base).....	"	109
TEST FINALE (verifica dei concetti analizzati).....	"	112
BIBLIOGRAFIA	"	116
RIFERIMENTI NORMATIVI	"	117

Introduzione

Il presente libro affronta il tema della progettazione strutturale nelle costruzioni in cemento armato secondo la nuova normativa nazionale, D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, che per comodità sarà indicato con l’acronimo NTC 2008 o semplicemente NTC e si sofferma sul tema dei fori sui solai in latero-cemento.

I solai in latero-cemento si configurano come le strutture orizzontali piane maggiormente utilizzate e sono considerate strutture miste: cemento armato e blocchi di laterizio.

Il cemento armato si ottiene dall’unione di due materiali: calcestruzzo e barre d’acciaio annegate al suo interno.

Il calcestruzzo è un materiale composito ottenuto mediante la miscela dei seguenti materiali: inerti (ghiaia e sabbia), cemento ed acqua.

L’acciaio è una lega metallica composta da ferro e carbonio, con una ben definita quantità di carbonio che determina la resistenza, la duttilità e la saldabilità del materiale. Gli acciai da costruzione e da carpenteria (acciai dolci) hanno un basso tenore di carbonio, compreso tra 0,1% e 0,3%, conferendo una notevole duttilità al materiale.

Le NTC 2008 non dedicano molto spazio ai solai, pertanto si farà riferimento alla Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 e al decreto ministeriale del 9 gennaio 1996.

Nel presente libro si affronta nel dettaglio il calcolo di un foro nel solaio mediante la realizzazione di quattro travi a spessore ai lati che non modifica lo schema strutturale dell’edificio.

Le travi del bordo del foro andranno dimensionate in funzione delle azioni massime calcolate sui bordi del foro ottenuti mediante la risoluzione degli schemi statici del solaio, per fare ciò si ipotizza che il peso della zona di solaio che viene eliminata dal foro equivale al peso delle travi del bordo del foro e che la rigidezza della parte di solaio che include il foro sia rimasta invariata.

Gli ultimi capitoli del presente testo sono dedicati all’installazione e all’uso del software *Open Floor*. Il programma presenta un’interfaccia semplice ed intuitiva, e con pochi passaggi consente all’utente di effettuare il calcolo delle travi di un foro in un solaio in latero-cemento, di stampare la relazione di calcolo e i disegni esecutivi.

*Arch. Elisabetta Scalora
Ing. Vincenzo Calvo*

Capitolo 1

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 dalla seguente 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	C40/50
C12/15	C45/55
C16/20	C50/60
C20/25	C55/67
C25/30	C60/75
C28/35	C70/85
C32/40	C80/95
C35/45	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.

Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo, secondo quanto indicato al §11.2.5 delle NTC, di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la conformità delle caratteristiche

del calcestruzzo messo in opera rispetto a quello stabilito dal progetto e sperimentalmente verificato in sede di valutazione preliminare, pertanto il controllo della resistenza caratteristica viene effettuato su provini cubici di calcestruzzo, prelevati in cantiere al momento del getto.

Il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e si configura, in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

- controllo di tipo A;
- controllo di tipo B.

Per miscela omogenea si intende il quantitativo di calcestruzzo, destinato alla realizzazione di un'opera, con la stessa classe di resistenza.

Il controllo di accettazione è positivo ed il quantitativo di calcestruzzo accettato se risultano verificate le disuguaglianze di cui alla Tab. 11.2.I delle NTC 2008.

CONTROLLI DI TIPO A	CONTROLLI DI TIPO B
$R_1 \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_m \geq R_{ck} + 3,5$ (numero prelievi: 3)	$R_m \geq R_{ck} + 1,4 \cdot s$ (numero prelievi: 15)
Dove: R_m è la resistenza media dei prelievi (N/mm ²); R_1 è il minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm ²); s è lo scarto quadratico medio.	

Controlli di accettazione – Tabella 11.2.I delle NTC 2008

Il controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³ ed è costituito da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea.

Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo. Nelle costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

Il controllo di tipo B è obbligatorio per opere strutturali che richiedano l'impiego di più di 1500 m³ di miscela omogenea. Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1.500 m³ di calcestruzzo.

Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m³.

1.1. 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:

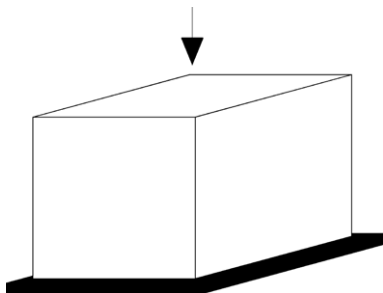
- 0,80 m³ di ghiaia;
- 0,40 m³ di sabbia;
- 300 kg di cemento;
- 120 l di acqua.

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).

1.1.1. 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 dalla seguente 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.

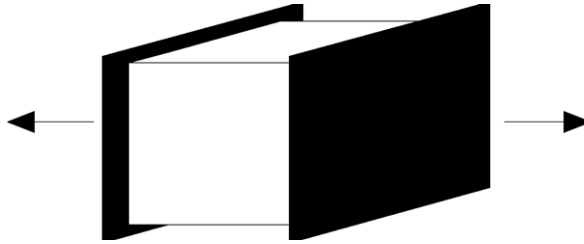
1.1.2. Resistenza a trazione

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:

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

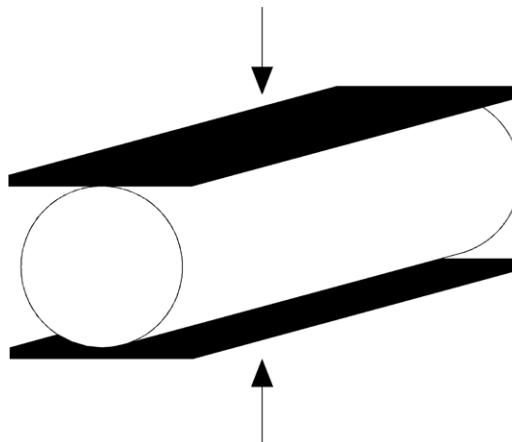
Dove:

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):

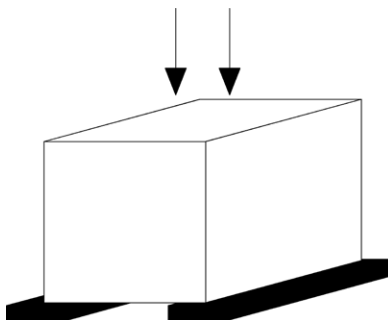
$$- f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60;$$

$$- f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln \left[1 + \frac{f_{cm}}{10} \right] \quad \text{per classi} > C50/60.$$

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.



Il valore medio della resistenza a trazione per flessione, ai sensi delle NTC 2008, è assunto, in mancanza di sperimentazione diretta, pari a:

$$f_{ctfm} = 1,2 \cdot f_{ctm}$$

1.1.3. Modulo elastico

Il modulo elastico (modulo di Young), si ricava dal diagramma tensioni-deformazioni σ - ϵ , sotto l'ipotesi di comportamento elastico-lineare del materiale.

Dal diagramma σ - ε si evince che all'aumentare della resistenza a compressione aumenta il valore del modulo elastico.

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e $0,40 \cdot f_{cm}$, determinato sulla base di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 6556:1976.

In sede di progettazione, ai sensi delle NTC 2008, si può assumere il seguente valore (in N/mm²):

$$E_{cm} = 22.000 \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3}$$

1.1.4. Coefficiente di Poisson

Per il coefficiente di Poisson si può adottare, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0,2 (calcestruzzo non fessurato).

1.1.5. Coefficiente di dilatazione termica

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può essere determinato a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI EN 1770:2000.

In sede di progettazione, o in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumere un valor medio pari a 10×10^{-6} °C⁻¹, fermo restando che tale quantità dipende significativamente dal tipo di calcestruzzo considerato (rapporto inerti/legante, tipi di inerti, ecc.) e può assumere valori anche sensibilmente diversi da quello indicato.

1.1.6. Ritiro

Nella fase di stagionatura del calcestruzzo, parte dell'acqua in esso contenuta, necessaria per l'idratazione del cemento, evapora e ciò determina il fenomeno del ritiro, che consiste in una perdita di volume. La deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo le norme UNI 6555:1973 e UNI 7086:1972, rispettivamente per calcestruzzi confezionati con inerti aventi dimensioni massime sino a 30 mm, od oltre 30 mm.

In sede di progettazione, e quando non si ricorra ad additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite (§11.2.10.6 delle NTC 2008).

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

Dove:

ε_{cs} deformazione totale per ritiro;

ε_{cd} deformazione per ritiro da essiccamento;

ε_{ca} deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento si determina mediante la seguente espressione:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{c0}$$

dove k_h e ε_{c0} si ricavano dalle Tabelle 11.2.Va e 11.2.Vb delle NTC 2008 in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro h_0 .

h_0 (mm)	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Valori di k_h – Tabella 11.2.Vb delle NTC 2008

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Valori di ε_{c0} – Tabella 11.2.Va delle NTC 2008

Per valori intermedi dei parametri indicati è consentita l'interpolazione lineare. Lo sviluppo nel tempo della deformazione ε_{cd} può essere valutato come:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds} \cdot (t - t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty}$$

dove la funzione di sviluppo temporale assume la forma:

$$\beta_{ds}(t - t_s) = \frac{(t - t_s)}{\left[(t - t_s) + 0,04 \cdot h_0^{3/2} \right]}$$

In cui:

t è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni);

t_s è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro da essiccamento (normalmente il termine della maturazione, espresso in giorni);

h_0 è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $2A_c/u$ essendo:

A_c è l'area della sezione in calcestruzzo;

u è il perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno $\varepsilon_{ca,\infty}$ può essere valutato mediante l'espressione:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad \text{con } f_{ck} \text{ espressi in N/mm}^2$$