



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 IV



SOFTWARE INCLUSO
CON SISTEMA G-CLOUD



QUARTA EDIZIONE


GRAFILL

Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora

APERTURA FORI IN SOLAI DI LATERO-CEMENTO

Ed. IV (03-2021)

ISBN 13 978-88-277-0223-9

EAN 9 788827 702239

Collana **Software** (139)



Prima di attivare Software o WebApp inclusi
prendere visione della licenza d'uso.

Inquadrare con un reader il QR Code a fianco
oppure collegarsi al link <https://grafill.it/licenza>

© **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

CONTATTI IMMEDIATI



Pronto GRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
[chiamami.grafill.it](tel:091226679)



Whatsapp
[grafill.it/whatsapp](https://www.grafill.it/whatsapp)



Messenger
[grafill.it/messenger](https://www.grafill.it/messenger)



Telegram
[grafill.it/telegram](https://www.grafill.it/telegram)

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. – Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

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.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	p.	9
1. INQUADRAMENTO NORMATIVO	"	11
2. IL CEMENTO ARMATO	"	14
2.1. Calcestruzzo	"	18
2.1.1. Resistenza a compressione	"	19
2.1.2. Resistenza a trazione	"	21
2.1.3. Modulo elastico	"	23
2.1.4. Coefficiente di Poisson	"	24
2.1.5. Coefficiente di dilatazione termica	"	24
2.1.6. Ritiro	"	24
2.1.7. Viscosità	"	26
2.1.8. Durabilità	"	26
2.1.9. Diagrammi di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo (NTC2018)	"	27
2.2. Acciaio	"	31
2.2.1. Resistenza dell'acciaio	"	31
2.2.2. Diagrammi di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio (NTC2018)	"	32
2.2.3. Acciaio per cemento armato	"	33
2.2.4. Accertamento delle proprietà meccaniche	"	37
2.2.5. Caratteristiche dimensionali e di impiego	"	38
2.2.6. Reti e tralicci elettrosaldati	"	38
2.2.7. Saldabilità	"	39
2.2.8. Tolleranze dimensionali	"	40
3. REQUISITI DELLE OPERE STRUTTURALI	"	41
3.1. Stati Limite	"	41
3.2. Stati Limite Ultimi (SLU)	"	43
3.3. Stati Limite di Esercizio (SLE)	"	44
3.4. Durabilità	"	44

3.5.	Robustezza	p.	45
3.6.	Verifiche	"	45
4.	AZIONI E CARICHI SULLE COSTRUZIONI	"	47
4.1.	La classificazione delle azioni	"	47
4.1.1.	Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi	"	47
4.1.2.	Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale.....	"	47
4.1.3.	Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo	"	47
4.2.	La caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	48
4.3.	Le combinazioni delle azioni	"	49
4.4.	Pesi propri dei materiali strutturali	"	52
4.5.	I carichi permanenti non strutturali.....	"	53
4.6.	I carichi variabili.....	"	54
4.6.1.	Sovraccarichi verticali uniformemente distribuiti	"	55
4.6.2.	Sovraccarichi verticali concentrati	"	56
4.6.3.	Sovraccarichi orizzontali lineari.....	"	56
5.	AZIONE DELLA NEVE.....	"	58
5.1.	Coefficiente di forma per le coperture	"	58
5.1.1.	Copertura ad una falda.....	"	59
5.1.2.	Copertura a due falde.....	"	59
5.2.	Coefficiente di esposizione	"	60
5.3.	Coefficiente termico	"	60
5.4.	Valore caratteristico del carico della neve al suolo	"	60
6.	AZIONE DEL VENTO	"	63
6.1.	Velocità base di riferimento	"	63
6.2.	Velocità di riferimento	"	65
6.3.	Pressione del vento	"	66
6.4.	Azione tangente del vento	"	66
6.5.	Pressione cinetica di riferimento	"	66
6.6.	Coefficiente di esposizione	"	67
6.7.	Coefficiente aerodinamico	"	69
6.8.	Coefficiente dinamico.....	"	69
6.9.	Avvertenze progettuali	"	69
7.	ANALISI STRUTTURALE	"	71
7.1.	Analisi elastica lineare	"	71
7.2.	Analisi plastica	"	72

7.3.	Analisi non lineare	p.	73
7.4.	Effetti delle deformazioni	"	73
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	"	74
8.1.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	74
8.1.1.	Resistenze di calcolo dei materiali	"	74
8.1.2.	Resistenza a sforzo normale e flessione (elementi monodimensionali)	"	76
8.1.3.	Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	"	78
8.1.4.	Elementi con armature trasversali resistenti al taglio	"	79
8.1.5.	Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti	"	82
8.1.6.	Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi	"	84
8.1.7.	Resistenza a fatica	"	85
8.1.8.	Indicazioni specifiche relative a pilastri e pareti – Pilastri cerchiati	"	85
8.1.9.	Indicazioni specifiche relative a pilastri e pareti – Verifiche di stabilità per elementi snelli	"	85
8.1.10.	Indicazioni specifiche relative a pilastri e pareti – Metodi di verifica	"	86
8.1.11.	Indicazioni specifiche relative a pilastri e pareti – Verifica dell'ancoraggio delle barre di acciaio con il calcestruzzo	"	87
8.1.12.	Verifica per situazioni transitorie	"	87
8.1.13.	Verifica per situazioni eccezionali	"	87
8.1.14.	Progettazione integrata da prove e verifica mediante prove	"	88
8.1.15.	Verifica dell'aderenza delle barre di acciaio con il calcestruzzo	"	88
8.2.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)	"	88
8.2.1.	Verifiche di deformabilità	"	88
8.2.2.	Verifica delle vibrazioni	"	91
8.2.3.	Verifica di fessurazione	"	91
8.2.4.	Verifica delle tensioni di esercizio	"	98
8.2.5.	Verifica per situazioni transitorie	"	99
8.2.6.	Verifica per situazioni eccezionali	"	99
8.2.7.	Dettagli costruttivi per travi e pilastri	"	99
9.	SOLAI IN CEMENTO ARMATO	"	102
9.1.	Solai misti in c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio o in calcestruzzo	"	103

9.2.	Solai misti in c.a. e c.a.p. e blocchi diversi dal laterizio o calcestruzzo	p.	104
9.3.	Solai realizzati con l'associazione di componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p.	"	104
9.3.1.	Regole generali e caratteristiche minime dei blocchi	"	104
9.3.2.	Limiti dimensionali	"	105
9.3.3.	Caratteristiche fisico-meccaniche	"	105
9.4.	Modellazione strutturale	"	106
9.5.	Progettazione	"	106
9.5.1.	Spessore minimo dei solai	"	106
9.5.2.	Modulo elastico di calcolo	"	106
9.5.3.	Spessore minimo della soletta	"	107
9.5.4.	Larghezza ed interasse delle nervature	"	107
9.5.5.	Armatura trasversale	"	107
9.5.6.	Armatura longitudinale	"	107
10.	FORO NEL SOLAIO	"	108
10.1.	Calcolo di un foro realizzato con quattro travi a spessore	"	108
10.2.	Calcolo di un foro realizzato con travi parallele al solai principale	"	117
11.	INSTALLAZIONE E ATTIVAZIONE DI OPEN FLOOR IV	"	125
11.1.	Introduzione	"	125
11.2.	Requisiti hardware e software	"	125
11.3.	Attivazione del software incluso	"	125
11.3.	Assistenza tecnica sui prodotti Grafill	"	127
12.	MANUALE D'USO DI OPEN FLOOR IV	"	128
12.1.	Comando [Nuovo File]	"	129
12.2.	Comando [Apri File]	"	129
12.3.	Comando [Salva]	"	129
12.4.	Comando [Dati Generali]	"	129
12.5.	Comando [Materiali]	"	131
12.6.	Comando [Dati solaio]	"	132
12.7.	Comando [Dati foro]	"	133
12.8.	Comando [Analisi dei carichi]	"	136
12.9.	Comando [Azioni di calcolo]	"	140
12.10.	Comando [Relazione di calcolo]	"	142
12.11.	Comando [Crea esecutivi dxf]	"	142
12.12.	Comando [Informazioni]	"	143

**ESEMPIO DI RELAZIONE
PER IL CALCOLO DI UN FORO SU UN SOLAIO
CHE NON MODIFICA LO SCHEMA STRUTTURALE
(elaborata mediante il software Open Floor IV) p. 145**

**ESEMPIO DI RELAZIONE
PER IL CALCOLO DI UN FORO SU UN SOLAIO
CHE MODIFICA LO SCHEMA STRUTTURALE
(elaborata mediante il software Open Floor IV) " 155**

GLOSSARIO " 166

**F.A.Q. DOMANDE E RISPOSTE
SUI PRINCIPALI ARGOMENTI " 168**

**TEST INIZIALE
(VERIFICA DELLA FORMAZIONE DI BASE) " 170**

**TEST FINALE
(VERIFICA DEI CONCETTI ANALIZZATI) " 172**

**RIFERIMENTI
BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI " 174**

INTRODUZIONE

Il presente libro affronta il tema della progettazione strutturale nelle costruzioni in cemento armato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (di cui al D.M. 17 gennaio 2018), pubblicate sulla *Gazzetta Ufficiale* il 20 febbraio 2018 ed in vigore dal 22 marzo 2018, che per comodità saranno indicate con l'acronimo NTC 2018 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 2018 non dedicano molto spazio ai solai, pertanto si farà riferimento alla Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., e al D.M. 9 gennaio 1996.

Il presente volume affronta due tipi di calcolo:

1. Calcolo di un foro nel solaio mediante la realizzazione di quattro travi a spessore ai lati che non modifica lo schema strutturale dell'edificio.
2. Calcolo di un foro realizzato con travi parallele al solaio principale che modificano lo schema strutturale dell'edificio.

Nel primo caso 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.

Nel secondo caso, il solaio intercluso tra le due travi aggiuntive viene calcolato come trave semplicemente appoggiata alle estremità per il calcolo delle armature inferiori, mentre vengono considerate incastrate agli estremi per il calcolo delle armature superiori. Per il solaio ortogonale che si viene a creare lo schema statico da considerare è quello di trave continua su due appoggi, risolvendo lo schema di trave continua per le diverse combinazioni di carico (combinazioni a scacchiera) si determinano i valori dei momenti e dei tagli in corrispondenza del foro.

Gli ultimi capitoli sono dedicati all'installazione e all'uso di **Open Floor IV** il software dall'interfaccia semplice ed intuitiva che con pochi passaggi consente 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

INQUADRAMENTO NORMATIVO

Il quadro normativo di riferimento per le strutture è rappresentato, in Italia, dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (di cui al D.M. 17 gennaio 2018), pubblicate sulla *Gazzetta Ufficiale* il 20 febbraio 2018 e in vigore dal 22 marzo 2018 (30 giorni dopo la pubblicazione) e dalla Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (*Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*).

Le nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* si compongono di un decreto di tre articoli e di un allegato composto da 12 capitoli. Le NTC 2018 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.

In generale, il testo è stato semplificato ed integrato con la normativa comunitaria, avvicinandosi sempre di più agli Eurocodici. Con le nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* è stato eliminato ogni riferimento al metodo di verifica alle tensioni ammissibili.

Per quanto riguarda la sicurezza e prestazioni attese, rispetto alle NTC 2008, sono stati aggiunti dei paragrafi sui requisiti di durabilità e di robustezza e sono state inserite prescrizioni specifiche sulla sicurezza in caso d'incendio, inoltre è stato riformulato il § 2.4, in relazione a definizione e prescrizioni sulla vita nominale di progetto, introducendo categorie di opere, differenziate sotto il profilo non tipologico ma prestazionale.

La vita nominale, V_N , di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tabella 2.4.I delle NTC 2018 (*cfr.* Tabella 1.1). Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo (§ 2.4.1 delle NTC 2018).

Tabella 1.1. Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I delle NTC 2018).

	Costruzioni	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10

[segue]

	Costruzioni	Valori minimi di V_N (anni)
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a P_N , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni. Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

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 2018, 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.

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

IL CEMENTO ARMATO

Il *cemento armato* si ottiene dall'unione di due materiali: il calcestruzzo e le barre d'acciaio annegate al suo interno; il calcestruzzo ha una buona resistenza a compressione mentre le barre d'acciaio hanno una buona resistenza a trazione. Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo (§ 4.1 delle NTC 2018), 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 Tabella 4.1.I delle NTC 2018. 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 $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$.

Tabella 2.1. *Classi di resistenza (Tab. 4.1.I delle NTC 2018).*

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C30/37
C35/45
C45/55
C40/50
C45/55

[segue]

CLASSE DI RESISTENZA
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Oltre alle classi di resistenza riportate nella Tabella 4.1.I delle NTC 2018 si possono prendere in considerazione le classi di resistenza già in uso C28/35 e C32/40 indicati nella Tabella 4.1.I delle NTC 2018.

Tabella 2.2. *Classi di resistenza (Tab. 4.1.I delle NTC 2008).*

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

I calcestruzzi delle diverse classi di resistenza trovano impiego secondo quanto riportato nella Tabella 4.1.II delle NTC 2018, fatti salvi i limiti derivanti dal rispetto della durabilità.

Tabella 2.3. *Impiego delle diverse classi di resistenza (Tab. 4.1.II delle NTC 2018).*

Strutture di destinazione	Classe di resistenza minima
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C25/35

REQUISITI DELLE OPERE STRUTTURALI

3.1. Stati Limite

Per Stato Limite si intende la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati.

Nelle NTC 2018 sono normati i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello.

Secondo quanto indicato nel § 2.1 delle NTC 2018 le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera.
- *Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio.
- *Robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.
- *Sicurezza antincendio*: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto.
- *Durabilità*: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi.

I materiali ed i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Le prove e le procedure di accettazione sono definite nelle parti specifiche delle presenti norme riguardanti i materiali.

La fornitura di componenti, sistemi o prodotti, impiegati per fini strutturali, deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell'opera. I componenti, i sistemi e i prodotti edili od impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma, devono essere progettati ed installati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni di seguito prescritti.

Le azioni da prendere in conto devono essere assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle presenti norme. In mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso ad opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a documenti, normativi e non, di comprovata validità.

Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o della membratura strutturale, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono (X_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate (a_d), con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni (F_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli Stati Limite Ultimi (SLU) è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Il valore di progetto della resistenza di un dato materiale X_d è, a sua volta, funzione del valore caratteristico della resistenza, definito come frattile 5% della distribuzione statistica della grandezza, attraverso l'espressione: $X_d = X_k / \gamma_M$, essendo γ_M il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , inteso come frattile 95% della distribuzione statistica o come valore caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno, attraverso l'espressione:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k$$

essendo γ_F il fattore parziale relativo alle azioni.

Nel caso di concomitanza di più azioni variabili di origine diversa si definisce un valore di combinazione $\psi_0 F_k$, ove $\psi_0 \leq 1$ è un opportuno coefficiente di combinazione, che tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente con il loro valore caratteristico.

Per grandezze caratterizzate da distribuzioni con coefficienti di variazione minori di 0,10, oppure per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare i valori nominali, coincidenti con i valori medi.

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di fun-

AZIONI E CARICHI SULLE COSTRUZIONI

4.1. La classificazione delle azioni

Si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura. Ai sensi del § 2.5.1 delle NTC 2018, le azioni che agiscono sulle strutture sono classificate in base al modo di esplicarsi, secondo la risposta strutturale e secondo la variazione della loro intensità nel tempo.

4.1.1. *Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi*

- *Dirette*: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- *Indirette*: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, pre-compressione, cedimenti di vincoli, ecc.;
- *Degrado*: endogeno (alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale); esogeno (alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni).

4.1.2. *Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale*

- *Statiche*: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- *Pseudo statiche*: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- *Dinamiche*: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

4.1.3. *Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo*

- *Azioni permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
 - peso proprio del terreno, quando pertinente;
 - forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
 - spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;

- presollecitazione (P).
- *Azioni variabili (Q)*: azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:
 - sovraccarichi;
 - azioni del vento;
 - azioni della neve;
 - azioni della temperatura.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata.

- *Azioni eccezionali (A)*: azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;
 - incendi;
 - esplosioni;
 - urti ed impatti;
- *Azioni sismiche (E)*: azioni derivanti dai terremoti.

Quando rilevante, nella valutazione dell'effetto delle azioni è necessario tenere conto del comportamento dipendente dal tempo dei materiali, come per la viscosità.

4.2. La caratterizzazione delle azioni elementari

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , come indicato nel §2.3 delle NTC 2018. In accordo con le definizioni indicate nelle NTC, il valore caratteristico G_k di azioni permanenti caratterizzate da distribuzioni con coefficienti di variazione minori di 0,10 si può assumere coincidente con il valore medio.

Nel caso di azioni variabili caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno. Per le azioni ambientali (neve, vento, temperatura) il periodo di ritorno è posto uguale a 50 anni, corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 2% su base annua; per le azioni da traffico sui ponti stradali il periodo di ritorno è convenzionalmente assunto pari a 1000 anni.

Nella definizione delle combinazioni delle azioni, i termini Q_{kj} rappresentano le azioni variabili di diversa natura che possono agire contemporaneamente: Q_{k1} rappresenta l'azione variabile di base e Q_{k2} , Q_{k3} , ... le azioni variabili d'accompagnamento, che possono agire contemporaneamente a quella di base.

Con riferimento alla durata dei livelli di intensità di un'azione variabile, si definiscono:

- *Valore quasi permanente* $\psi_{2f} \cdot Q_{kj}$: il valore istantaneo superato oltre il 50% del tempo nel periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale alla media della distribuzione temporale dell'intensità.

AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture deve essere valutato mediante la seguente espressione (§ 3.4.1 delle NTC 2018):

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura;
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura (Tabella 3.4.II delle NTC 2018);
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [KN/m²];
- C_E è il coefficiente di esposizione;
- C_t è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

5.1. Coefficiente di forma per le coperture

I coefficienti di forma delle coperture dipendono dalla forma stessa della copertura e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione. In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione, i valori nominali del coefficiente di forma μ_1 delle coperture ad una o a due falde si possono ricavare dalla Tabella 3.4.II delle NTC 2018, essendo α , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Tabella 5.1. Valori del coefficiente di forma (Tab. 3.4.II delle NTC 2018).

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Si assume che alla neve non sia impedito di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera od altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo α .

Per coperture a più falde, per coperture con forme diverse, così come per coperture contigue a edifici più alti o per accumulo di neve contro parapetti o più in generale per altre situazioni ritenute significative dal progettista si deve fare riferimento a normative o documenti di comprovata validità.

5.1.1. Copertura ad una falda

Nel caso delle coperture ad una falda, si deve considerare la condizione di carico riportata nella seguente figura:

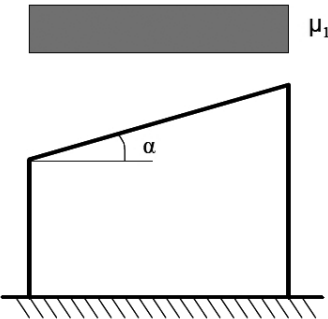


Figura 5.1. Condizione di carico per coperture ad una falda.

5.1.2. Copertura a due falde

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera o altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo α (§ 3.4.5.3 delle NTC 2018).

Per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I*. Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la peggiore tra le condizioni denominate *Caso II* e *Caso III*.

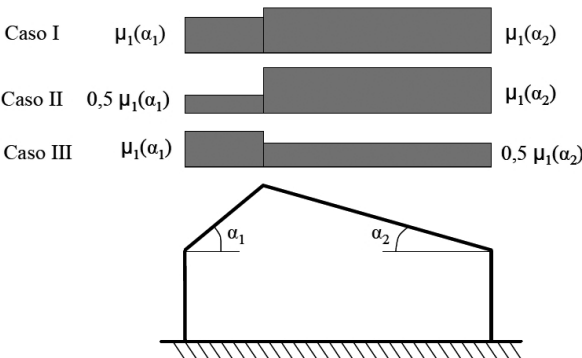


Figura 5.2. Condizioni di carico per coperture a due falde.

AZIONE DEL VENTO

Il vento esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando effetti dinamici. Generalmente la direzione dell'azione si considera orizzontale. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali adeguate allo stato dell'arte (§ 3.3.3 delle NTC 2018).

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sui singoli elementi che compongono la costruzione va determinata considerando la combinazione più gravosa delle pressioni agenti sulle due facce di ogni elemento. Nel caso di costruzioni di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

6.1. Velocità base di riferimento

La velocità di riferimento v_b è definita, nel § 3.3.1 delle NTC 2018, come il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tabella 3.3.II delle NTC 2018), riferito ad un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

dove:

- $v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tabella 3.3.I delle NTC 2018 in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1 delle NTC 2018 di seguito riportata);
- c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

- a_0, k_s sono parametri forniti nella Tabella 3.3.I delle NTC 2018 in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1 delle NTC 2018);
- a_s è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

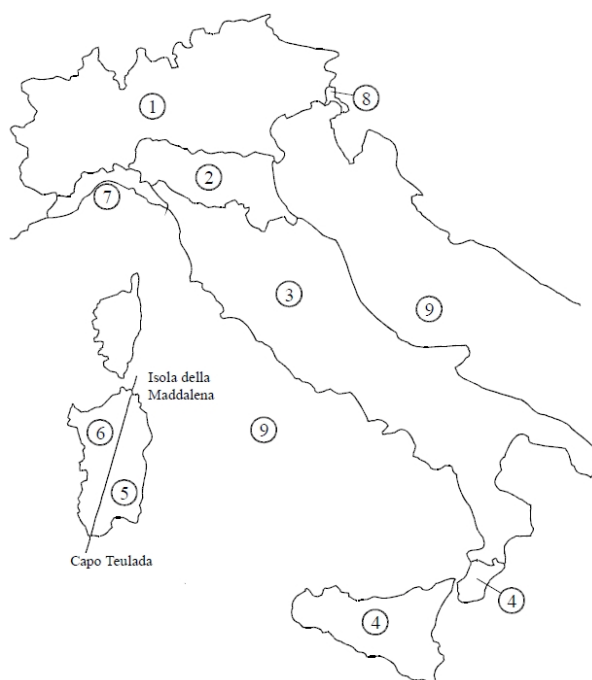


Figura 6.1. Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano (§ 3.3.1 delle NTC 2018).

Tabella 6.1. Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a (Tab. 3.3.I delle NTC 2018).

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [l/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1.000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45

[segue]

ANALISI STRUTTURALE

In particolare per l'analisi strutturale, volta alla valutazione degli effetti delle azioni, si potranno adottare, ai sensi delle NTC 2018, i metodi seguenti:

- analisi elastica lineare;
- analisi plastica;
- analisi non lineare.

Le analisi globali hanno lo scopo di stabilire la distribuzione delle forze interne, delle tensioni, delle deformazioni e degli spostamenti nell'intera struttura o in una parte di essa.

Analisi locali possono essere necessarie nelle zone singolari quali quelle poste:

- in prossimità degli appoggi;
- in corrispondenza di carichi concentrati;
- alle intersezioni travi-colonne;
- nelle zone di ancoraggio;
- in corrispondenza di variazioni della sezione trasversale.

7.1. Analisi elastica lineare

L'analisi elastica lineare può essere usata per valutare gli effetti delle azioni sia per gli stati limite di esercizio sia per gli stati limite ultimi (§ 4.1.1.1 delle NTC 2018).

Per la determinazione degli effetti delle azioni, le analisi saranno effettuate assumendo:

- sezioni interamente reagenti con rigidezze valutate riferendosi al solo calcestruzzo;
- relazioni tensione deformazione lineari;
- valori medi del modulo d'elasticità.

Per la determinazione degli effetti delle deformazioni termiche, degli eventuali cedimenti e del ritiro le analisi saranno effettuate assumendo:

- per gli stati limite ultimi, rigidezze ridotte valutate ipotizzando che le sezioni siano fessurate (in assenza di valutazioni più precise la rigidezza delle sezioni fessurate potrà essere assunta pari alla metà della rigidezza delle sezioni interamente reagenti);
- per gli stati limite di esercizio, rigidezze intermedie tra quelle delle sezioni interamente reagenti e quelle delle sezioni fessurate.

Per le sole verifiche agli stati limite ultimi, i risultati dell'analisi elastica possono essere modificati con una redistribuzione dei momenti, nel rispetto dell'equilibrio e delle capacità di rotazione plastica delle sezioni dove si localizza la redistribuzione. In particolare la

ridistribuzione non è ammessa per i pilastri e per i nodi dei telai, è consentita per le travi continue e le solette, a condizione che le sollecitazioni di flessione siano prevalenti ed i rapporti tra le luci di campate contigue siano compresi nell'intervallo 0,5-2,0.

Per le travi e le solette che soddisfano le condizioni dette la ridistribuzione dei momenti flettenti può effettuarsi senza esplicite verifiche in merito alla duttilità delle membrature, purché il rapporto δ tra il momento dopo la ridistribuzione ed il momento prima della ridistribuzione risulti $1 \geq \delta \geq 0,70$.

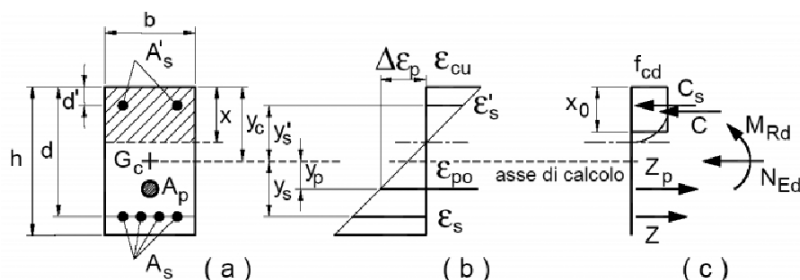
I valori di δ si ricavano dalle espressioni:

$$\delta \geq 0,44 + \frac{1,25 \cdot \left(0,6 + \frac{0,0014}{\epsilon_{cu}}\right) \cdot x}{d} \quad \text{per } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq 0,54 + \frac{1,25 \cdot \left(0,6 + \frac{0,0014}{\epsilon_{cu}}\right) \cdot x}{d} \quad \text{per } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

dove:

- x è l'altezza della zona compressa dopo la ridistribuzione;
- d è l'altezza utile della sezione (vedi figura seguente);
- ϵ_{cu} è la deformazione ultima del cls.



7.2. Analisi plastica

L'analisi plastica può essere usata per valutare gli effetti di azioni statiche e per i soli stati limite ultimi. Al materiale si può attribuire un diagramma tensioni-deformazioni rigido-plastico verificando che la duttilità delle sezioni dove si localizzano le plasticizzazioni sia sufficiente a garantire la formazione del meccanismo previsto (§ 4.1.1.2 delle NTC 2018).

Nell'analisi si trascurano gli effetti di precedenti applicazioni del carico e si assume un incremento monotono dell'intensità delle azioni e la costanza del rapporto tra le loro intensità così da pervenire ad un unico moltiplicatore di collasso. L'analisi può essere del primo o del secondo ordine.

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE**8.1. Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)****8.1.1. Resistenze di calcolo dei materiali**

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.

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

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 progetto a compressione va ridotta a $0,80 f_{cd}$.

Il coefficiente γ_c può essere ridotto da 1,5 a 1,4 per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 10%.

Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo

La resistenza di calcolo a trazione, f_{ctd} , vale:

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$$

dove:

- γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, $\gamma_c = 1,5$;
- f_{ctk} è la resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo.

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

Il coefficiente γ_c può essere ridotto, da 1,5 a 1,4 per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 10%.

Resistenza di calcolo dell'acciaio

La resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} è riferita alla tensione di snervamento ed è dato da:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove:

- γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio, $\gamma_s = 1,15$;
- f_{yk} per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio, per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da f_{pyk} (barre), $f_{p(0,1)k}$ (fili), $f_{p(1)k}$ (trefoli e trecce); si veda in proposito la Tabella 11.3.VIII delle NTC 2018.

Tabella 8.1. Tabella 11.3.VIII delle NTC 2018.

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm ²	≥ 1000	≥ 1570	≥ 1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua – scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm ²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ... $f_{p(1)k}$ N/mm ²	na	na	≥ 1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm ²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5
na = non applicabile				

SOLAI IN CEMENTO ARMATO

I solai sono strutture bidimensionali piane, a giacitura orizzontale o inclinata, caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale. Sono impiegati come chiusure orizzontali di copertura e/o chiusure orizzontali intermedia, e possono essere realizzati in legno, in cemento armato o in acciaio. La funzione principale è quella di trasferire i carichi e i sovraccarichi alla struttura portante e, oltre al compito di garantire la resistenza ai carichi verticali, è richiesta anche rigidezza nel proprio piano al fine di distribuire correttamente le azioni orizzontali tra le strutture verticali (§ C4.1.9 della Circolare n. 7/2019).

Il progettista deve verificare che le caratteristiche dei materiali, delle sezioni resistenti nonché i rapporti dimensionali tra le varie parti siano coerenti con tali aspettative. A tale scopo deve verificare che:

- le deformazioni risultino compatibili con le condizioni di esercizio del solaio e degli elementi costruttivi ed impiantistici ad esso collegati;
- vi sia, in base alle resistenze meccaniche dei materiali, un rapporto adeguato tra la sezione delle armature di acciaio, la larghezza delle nervature in conglomerato cementizio, il loro interasse e lo spessore della soletta di completamento in modo che sia assicurata la rigidezza nel piano e che sia evitato il pericolo di effetti secondari indesiderati.

I solai, dal punto di vista statico, sono soggetti a flessione, e pertanto i materiali che lo compongono devono resistere sia a compressione (calcestruzzo) che a trazione (acciaio).

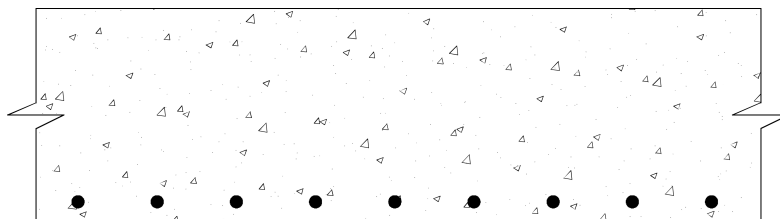


Figura 9.1. Solaio a soletta piena.

I primi solai in cemento armato erano le “solette piene”, ovvero interamente costituiti da armature e calcestruzzo. Il principale inconveniente dei solai a soletta piena è l’elevato peso che grava sulla struttura pertanto, studiando il comportamento del calcestruzzo mediante i

diagrammi delle tensioni, si è giunti alla realizzazione di solai più leggeri. L'alleggerimento fu ottenuto sostituendo parte del calcestruzzo teso con laterizi forati e concentrando l'armatura nei travetti, ottenendo così i "solai misti".

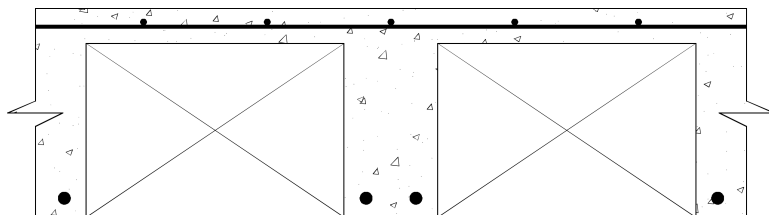


Figura 9.2. Solaio misto.

I solai in latero-cemento sono considerati come strutture miste: calcestruzzo armato e blocchi forati in laterizio, i blocchi in laterizio hanno funzione di alleggerimento e di aumento della rigidità flessionale del solaio.

9.1. Solai misti in c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio o in calcestruzzo

Nei solai misti in calcestruzzo armato normale e precompresso e blocchi forati in laterizio o in calcestruzzo, i blocchi hanno funzione di alleggerimento e di aumento della rigidità flessionale del solaio. Si suddividono in blocchi collaboranti e non collaboranti (§ 4.1.9.1 delle NTC 2018). Nel caso di blocchi non collaboranti la resistenza allo stato limite ultimo è affidata al calcestruzzo ed alle armature ordinarie e/o di precompressione. Nel caso di blocchi collaboranti questi partecipano alla resistenza in modo solidale con gli altri materiali.

Per i solai misti in cemento armato normale e blocchi forati in laterizio si ritiene necessario che siano verificati i requisiti fissati dalle specifiche Norme Europee armonizzate di prodotto, quando disponibili, e le seguenti condizioni se non previste dalle norme armonizzate. Per gli elementi da solaio non Marcati CE, invece, vanno verificate tutte le condizioni a seguire. Si possono distinguere le seguenti categorie di blocchi (§ C4.1.9.1 della Circolare n. 7/2019):

1. **Blocchi non collaboranti**, aventi prevalente funzione di alleggerimento; in unione con il calcestruzzo di completamento le pareti laterali dei blocchi e la parete orizzontale superiore possono, se è garantita una perfetta aderenza con il calcestruzzo, partecipare alla resistenza alle forze di taglio e all'aumento della rigidità flessionale rispettivamente.
2. **Blocchi collaboranti**, aventi funzione statica in collaborazione con il conglomerato. Essi partecipano alla definizione della sezione resistente ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio e ultimi nonché delle deformazioni.

Al fine di perseguire le esigenze esposte nei punti 1 e 2, per i solai misti in c.a. e blocchi di laterizio si ritiene necessario che siano verificate le seguenti condizioni.

FORO NEL SOLAIO

I fori nel solaio sono molto frequenti, poiché sono necessari per consentire il passaggio degli impianti, delle condotte, ecc..

Quando il foro intercetta più travetti è possibile intervenire in due modi:

1. Realizzare ai lati del foro due travi parallele incastrate nelle travi principali della campata.
2. Realizzare quattro travi a spessore attorno ai lati del foro (consigliato per fori aventi dimensione massima 160-170 cm).

10.1. Calcolo di un foro realizzato con quattro travi a spessore

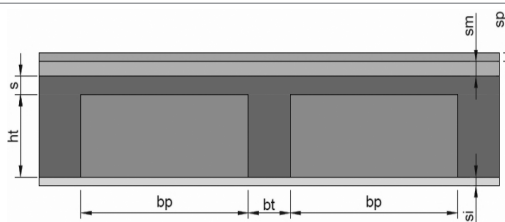
Il foro in un solaio si configura come un'interruzione, nello schema statico ciò si sintetizza effettuando un taglio del solaio in corrispondenza del foro ed applicando le azioni che vi erano nel solaio intero. Il foro realizzato con travi a spessore ai lati non modifica lo schema strutturale dell'edificio.

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.

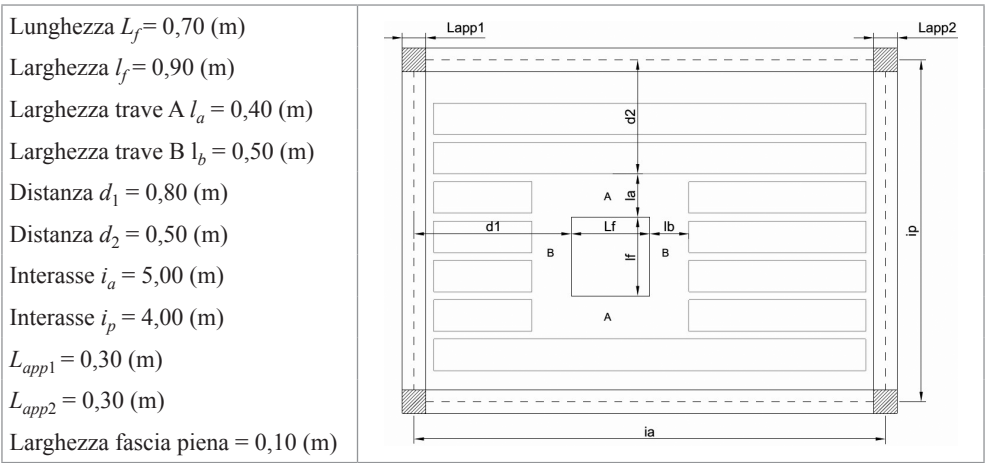
Dopo aver effettuato l'analisi dei carichi, si determinano le sollecitazioni (momento flettente e taglio) con l'analisi elastica lineare, risolvendo lo schema di trave continua per le diverse combinazioni di carico (combinazioni a scacchiera) e si individuano in prossimità dei contorni del foro i valori dei momenti e dei tagli, necessari per il calcolo delle travi.

Nell'esempio di seguito riportato si considera un solaio gettato in opera, realizzato con calcestruzzo C20/25 (R_{ck} 250 kg/cm²) e acciaio B450C (f_{yk} 4500 kg/cm²), formato da una campata di luce 5,00 m, avente le seguenti dimensioni:

Altezza $h+s = 0,22$ (m)
 Base travetto $bt = 0,10$ (m)
 Altezza soletta $s = 0,04$ (m)
 Massetto $sm = 0,03$ (m)
 Pavimento $sp = 0,02$ (m)
 Intonaco $si = 0,02$ (m)



Il foro ha dimensioni 70×90 cm e dista dalla trave su cui poggia il solaio 80 cm e dall'altra 50 cm, come riportato nell'immagine seguente:



Avendo i dati di progetto si effettua l'analisi dei carichi e considerando un metro di solaio si avrà:

– *Carichi permanenti strutturali* (peso proprio)

Travetti	n.	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	2	0,10	0,18	1,00	2500	90,00
Laterizi	n.	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	2	0,40	0,18	1,00	800	115,20
Solettina collaborante	s	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	0,04	1,00	1,00	1,00	2500	100,00
$305,20 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,30 (\gamma_{G1})$				Totale carichi permanenti strutturali		
				$G_1 = 396,76 \text{ kg/m}^2$		

– *Carichi permanenti non strutturali* (peso proprio)

Massetto	s	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	0,03	1,00	1,00	1,00	1600	48,00
Pavimento	s	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	0,02	1,00	1,00	1,00	2700	54,00
Intonaco	s	b	h	l	Peso specifico	kg/m ²
	0,02	1,00	1,00	1,00	1600	32,00

INSTALLAZIONE E ATTIVAZIONE DI OPEN FLOOR IV

11.1. Introduzione

Parte integrante della presente pubblicazione è **Open Floor IV**, software professionale per il calcolo delle travi di bordo di un foro in un solaio di latero-cemento.

Open Floor IV consente di stampare la relazione di calcolo e di generare i disegni esecutivi in .dxf del **Foro Tipo 1** (*foro nel solaio senza modifica dello schema strutturale dell'edificio*). Nel software sono inoltre disponibili: **Glossario** (termini più ricorrenti sull'argomento); **FAQ** (risposte alle domande più frequenti); **Test iniziale / Test finale** (verifiche sulla conoscenza dell'argomento).

L'installazione e l'attivazione del software **Open Floor IV** sono gestite attraverso una WebApp dedicata che contiene anche una **Banca dati di normativa e giurisprudenza** consultabile attraverso un motore di ricerca e con aggiornamenti automatici per 365 giorni dall'attivazione.

11.2. Requisiti hardware e software

- Processore da 2.00 GHz;
- MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- MS .Net Framework 4+;
- 250 MB liberi sull'HDD;
- 2 GB di RAM;
- Software per la gestione di documenti Office e PDF;
- Risoluzione monitor consigliata 1600×900;
- Accesso ad internet e browser web.

11.3. Attivazione del software incluso

1. Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0223_9.php

2. Inserire i codici «A» e «B» (vedi ultima pagina del volume) e cliccare su **[Continua]**.
3. Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**.
4. Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**.
5. Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** in corrispondenza del prodotto acquistato.

6. Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**.

Lo scaffale **Le mie App** presenterà tutte le WebApp attive.

7. Entrare nella WebApp abbinata alla presente pubblicazione cliccando sulla relativa immagine di copertina e visualizzarne i contenuti.

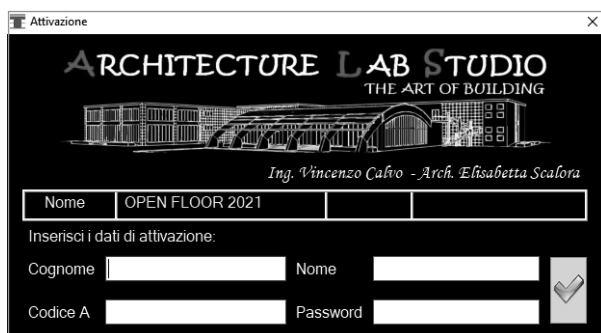
8. Per installare e attivare **Open Floor IV** svolgere la seguente procedura:

- cliccare sul pulsante **[Software]** della WebApp e si aprirà una scheda che contiene i **codici di attivazione** ed il pulsante **[Scarica Software]**;
- cliccare sul pulsante **[Scarica Software]** e avviare il download;
- installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0224-6.exe**;
- terminata la procedura di installazione avviare il software:

Per utenti MS Windows Vista/7/8: **[Start]** > **[Tutti i programmi]** > **[Grafill]** > **[Open Floor IV]** (cartella) > **[Open Floor IV]** (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: **[Start]** > **[Tutte le app]** > **[Grafill]** > **[Open Floor IV]** (icona di avvio)

- inserire i dati di *Attivazione* e confermare cliccando su :



- verrà visualizzata la seguente finestra di avvio di **Open Floor IV**:



Cliccare su **[Avvia]** per visualizzare la finestra principale di **Open Floor IV** (che esamineremo nel capitolo che segue).

Cliccare su **[Glossario]** per consultare un elenco dei principali termini tecnico-normativi utilizzati.

Cliccare su **[Faq]** per consultare una serie di domande e risposte sugli argomenti trattati in questo volume.

Cliccare su **[Test iniziale]** per effettuare un test sulla formazione di base.

Cliccare su **[Test finale]** per effettuare un test di verifica dei concetti analizzati.

Completata la sezione delle risposte, sia nel test iniziale che in quello finale, cliccare su *Effettua la verifica* per visualizzare le risposte corrette (in verde) e quelle errate (in rosso). Volendo rifare il test basterà cliccare su *Reset*.

11.4. Assistenza tecnica sui prodotti Grafill

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su **<https://www.supporto.grafill.it>**.

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

MANUALE D'USO DI OPEN FLOOR IV

L'interfaccia grafica di **Open Floor IV** è suddivisa in tre zone, la parte superiore da accesso alle informazioni sul software e alla guida per la comprensione del testo (Glossario, FAQ, Test iniziale e Test finale). La zona centrale è una guida interattiva che attraverso testo e immagini ci fornisce delle informazioni sui comandi e le funzioni del programma; la zona a sinistra invece include le icone e i pulsanti necessari all'esecuzione del programma:

1. Dati generali;
2. Materiali;
3. Dati solaio
4. Dati sul foro;
5. Analisi dei carichi;
6. Azioni di calcolo;
7. Relazione di calcolo;



Figura 12.1. Schermata principale di Open Floor IV

12.1. Comando [Nuovo File]

Il comando **[Nuovo File]** azzerava tutti i valori inseriti precedentemente dall'utente. Per attivarlo basta cliccare nel pulsante **N** sotto GESTIONE FILE.

12.2. Comando [Apri File]

Il comando **[Apri File]** consente di aprire un documento precedentemente salvato. Per attivarlo basta cliccare nel pulsante **A** sotto GESTIONE FILE e si aprirà una finestra da cui scegliere il file da caricare.

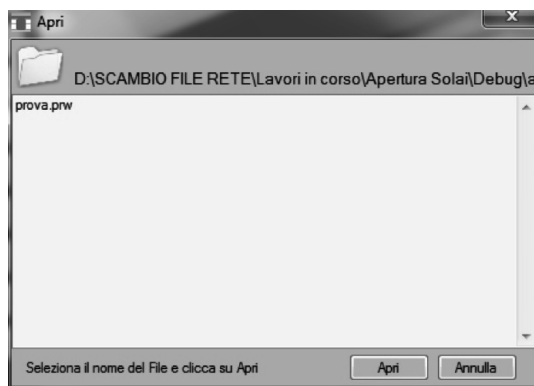


Figura 12.2. *Apri file*

12.3. Comando [Salva]

Il comando **[Salva]** consente il salvataggio dei dati inseriti. Per attivarlo basta cliccare nel pulsante **S** sotto GESTIONE FILE e si aprirà una finestra di dialogo in cui occorre digitare il nome del documento; per completare l'operazione cliccare **[Salva]**.



Figura 12.3. *Salva file*

12.4. Comando [Dati Generali]

Spostando il cursore del mouse sul comando **[Dati Generali]**, nella zona centrale dell'interfaccia principale si visualizzerà un'anteprima della finestra con la nota (Figura 12.4).

**ESEMPIO DI RELAZIONE
PER IL CALCOLO DI UN FORO SU UN SOLAIO
CHE NON MODIFICA LO SCHEMA STRUTTURALE**

(elaborata mediante il software Open Floor IV)

RELAZIONE DI CALCOLO

Comune di Siracusa

Provincia di Siracusa

OGGETTO DEI LAVORI: Nuova costruzione in c.a. di una villetta unifamiliare costituita da due livelli fuori terra sita in Siracusa

DATI DEL TECNICO

Titolo Nome e Cognome: Ing. Rossi Mario

Indirizzo: via Roma, 26 – Siracusa

Recapiti:

IL TECNICO:
(Ing. Rossi Mario)

PREMESSA E IPOTESI DI CALCOLO

Il foro in esame non va a modificare lo schema strutturale dell'edificio ma interrompe il solaio, quindi le travi del bordo del foro andranno dimensionate in funzione delle azioni massime calcolate sui bordi del foro ottenuti dalla 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.

NORMATIVA UTILIZZATA

- L. n. 1086 del 05/11/1971 (Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, e strutture metalliche)
- D.M. 14/02/1992 (Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche)
- D.M. 09/01/1996 (Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso, e strutture metalliche)
- D.M. 16/01/1996 (Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi)
- D.M. 17/01/2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni)
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018)

TIPO DI ANALISI SVOLTA

Le combinazioni di carico per l'analisi delle sollecitazioni sono state combinate a scacchiera in modo da ottenere i massimi valori dei momenti e dei tagli in campata. Le caratteristiche delle sollecitazioni dovute ai carichi agenti sono state determinate utilizzando l'analisi elastica lineare. Per le verifiche sulle sezioni sono state utilizzate le formule trattate nel D.M. 17/01/2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni).

VALIDAZIONE DEL CALCOLO

La seguente relazione di calcolo illustra in modo dettagliato i dati geometrici, i dati di carico, la normativa utilizzata, gli schemi di carico e le verifiche effettuate con tutte le unità di misura in modo da poter controllare e verificare tutti i risultati. Lo scrivente dopo aver effettuato i calcoli ha valutato i risultati ottenuti mediante riscontri di massima eseguiti a campione.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI

CALCESTRUZZO

Resistenza cubica caratteristica – $R_{ck} = 250 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

Resistenza caratteristica a compressione – $f_{ck} = 207.50 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

**ESEMPIO DI RELAZIONE
PER IL CALCOLO DI UN FORO SU UN SOLAIO
CHE MODIFICA LO SCHEMA STRUTTURALE**

(elaborata mediante il software Open Floor IV)

RELAZIONE DI CALCOLO

Comune di Siracusa

Provincia di Siracusa

OGGETTO DEI LAVORI: Nuova costruzione in c.a. di una villetta unifamiliare costituita da due livelli fuori terra sita in Siracusa

DATI DEL TECNICO

Titolo Nome e Cognome: Ing. Rossi Mario

Indirizzo: via Roma, 26 – Siracusa

Recapiti:

IL TECNICO:
(Ing. Rossi Mario)

PREMESSA E IPOTESI DI CALCOLO

Il foro in esame interrompe il solaio mediante l'introduzione di due travi parallele al solaio principale che si innestano alle travi principali di piano modificando lo schema strutturale dell'edificio. Nella parte di solaio compresa tra le due travi di bordo del foro (chiamate trave A e trave B) si inverte l'orditura del solaio.

NORMATIVA UTILIZZATA

- L. n. 1086 del 05/11/1971 (Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, e strutture metalliche)
- D. M. 14/02/1992 (Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche)
- D. M. 09/01/1996 (Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso, e strutture metalliche)
- D. M. 16/01/1996 (Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi)
- D. M. 17/01/2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni)
- Circolare n. 617 del 02/02/2009 (Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni»)

TIPO DI ANALISI SVOLTA

Le caratteristiche di sollecitazione agenti nella struttura sono state determinate utilizzando l'analisi elastica lineare. I carichi agenti sono stati combinati in modo da ottenere le massime caratteristiche di sollecitazione sui vari elementi strutturali. Per le verifiche sulle sezioni sono state utilizzate le formule trattate nel D. M. 17/01/2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni).

CARATTERISTICHE DEI CODICI CALCOLO

Il solaio intercluso tra le due travi A e B, viene calcolato come trave appoggiata alle estremità. Le due travi aggiuntive parallelamente al solaio principale si considerano semplicemente appoggiate ai due estremi per il calcolo delle barre di armatura inferiori, mentre si considerano incastrate ai due estremi per il calcolo delle barre di armatura superiori. Le travi A e B sono caricate con un carico distribuito pari al carico del solaio parallelo ed alla metà del carico distribuito dovuto al solaio ortogonale intercluso tra le due travi A e B più il carico della eventuale tompagnatura in prossimità del foro.

VALIDAZIONE DEL CALCOLO

La seguente relazione di calcolo illustra in modo dettagliato i dati geometrici, i dati di carico, la normativa utilizzata, gli schemi di carico e le verifiche effettuate con tutte le unità di misura in



Manuale teorico-pratico sulla progettazione strutturale di costruzioni in cemento armato – secondo la nuova normativa nazionale (**D.M. 17 gennaio 2018**, recante «*Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*») – che approfondisce il tema dei fori sui solai in latero-cemento. Considerato che il **D.M. 17 gennaio 2018** non dedica molto spazio alla progettazione dei solai, si farà riferimento alla **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.**, ed al **D.M. 9 gennaio 1996**.

Il manuale tratta i seguenti argomenti: cemento armato; inquadramento normativo; metodi di calcolo; azioni e carichi sulle costruzioni; azione della neve; azione del vento; analisi strutturale; verifiche agli stati limite; solai in cemento armato. Inoltre approfondisce due tipi di calcolo:

- calcolo di un foro nel solaio mediante la realizzazione di quattro travi a spessore ai lati che non modifica lo schema strutturale dell'edificio;
- calcolo di un foro realizzato con travi parallele al solaio principale che modificano lo schema strutturale dell'edificio.

Nel primo caso, 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 rigidità della parte di solaio che include il foro sia rimasta invariata. Nel secondo caso, il solaio intercluso tra le due travi aggiuntive viene calcolato come trave semplicemente appoggiata alle estremità per il calcolo delle armature inferiori, mentre vengono considerate incastrate agli estremi per il calcolo delle armature superiori.

Completano il testo **due esempi di relazione** per il calcolo delle travi di bordo di un foro in un solaio elaborate con **Open Floor IV**, software professionale per il calcolo delle travi di bordo di un foro in un solaio di latero-cemento.

Open Floor IV è parte integrante della pubblicazione e consente di stampare la relazione di calcolo e di generare i disegni esecutivi in .dxf del **Foro Tipo 1** (*foro nel solaio senza modifica dello schema strutturale dell'edificio*).

L'installazione e l'attivazione del software **Open Floor IV** sono gestite da una WebApp dedicata che contiene anche una **Banca dati di normativa e giurisprudenza** consultabile attraverso un motore di ricerca e con aggiornamenti automatici per 365 giorni dall'attivazione.

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Processore da 2.00 GHz; MS Windows Vista/7/8/10 (con privilegi di amministratore); MS .Net Framework 4+; 250 MB liberi sull'HDD; 2 GB di RAM; Software per la gestione di documenti Office e PDF; Risoluzione monitor consigliata 1600x900; Accesso ad internet e browser web.

Vincenzo Calvo, Ingegnere edile, svolge principalmente attività di progettazione, calcolo strutturale, gestione di imprese edili, sicurezza nei luoghi di lavoro. Si occupa anche di pubblicazioni editoriali e di sviluppo di programmi tecnico-professionali sulla sicurezza e sul calcolo strutturale.

Elisabetta Scalora, Architetto, si occupa di calcolo di strutture in cemento armato, acciaio e legno, architettura degli interni, design e progettazione architettonica e strutturale. Ha al suo attivo diverse pubblicazioni editoriali e programmi tecnico-professionali sulla sicurezza e sul calcolo strutturale.



ISBN 13 978-88-277-0224-6



9 788827 702246 >

Euro 40,00