

Compatibile Windows
2000 · XP · Vista · 7 (64 bit)



Michele Sanginisi

SOLAI

IN CEMENTO ARMATO

DALLA TEORIA ALL'ESECUTIVO DI CANTIERE

IV EDIZIONE

Software Solwin per il calcolo di solai prefabbricati, gettati in opera, misti

Azioni sismiche sugli sbalzi • Verifica dei travetti prefabbricati • Sviluppo delle c.d.c. distinti (fino a 11) • Diagrammi di momento • Taglio degli abbassamenti e delle rotazioni • Scelta dei criteri generali di progetto • Parametri per verifiche agli S.L.U. e S.L.E. • Verifiche in esercizio (tensioni, deformazioni e fessurazione) • Esecutivi esportabili in .dxf e .bmp • Relazione tecnica esportabile in formato .rtf e ASCII • Possibilità di aggiungere grafici e disegni • Relazione di validazione del codice di calcolo



MANUALE PDF



Dario Flaccovio Editore

MICHELE SANGINISI

Solai in cemento armato

DALLA TEORIA ALL'ESECUTIVO DI CANTIERE

IV EDIZIONE



Dario Flaccovio Editore

Michele Sanginisi

SOLAI IN CEMENTO ARMATO

ISBN 978-88-579-0063-6

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Quarta edizione: aprile 2011

Sanginisi, Michele <1953->

Solai in cemento armato / Michele Sanginisi. – 4. ed. - Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0063-6

1. Solai in cemento armato.

624.18342 CDD-22

SBN Pal0232650

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- eventuali aggiornamenti e/o errata corrige

INDICE*Prefazione**Premessa***PARTE PRIMA****Teoria****1. Normativa di riferimento**

1.1. Premessa	pag. 11
1.2. Cenni sul Decreto ministeriale 14 gennaio 2008	» 11
1.3. Stralcio Eurocodice 2	» 13

2. Metodi di calcolo

2.1. Ipotesi di base	» 17
2.2. Descrizioni delle fasi di calcolo	» 17
2.3. Organizzazione degli archivi	» 20
2.4. Individuazione delle sollecitazioni massime	» 22
2.5. Azione sismica sugli sbalzi	» 25
2.6. Vincoli delle estremità iniziale e finale	» 28
2.7. Risoluzione della struttura	» 29
2.8. Progettazione delle armature	» 33
2.8.1. Metodo delle tensioni ammissibili	» 35
2.8.2. Metodo agli stati limite	» 36
2.8.2.1. Valori caratteristici e valori di calcolo	» 37
2.8.2.2. Materiali	» 37
2.8.2.3. Metodi convenzionali di rottura a flessione semplice	» 39
2.8.2.4. Calcolo del momento ultimo	» 40
2.9. Verifica a taglio	» 44
2.9.1. Metodo delle tensioni ammissibili	» 44
2.9.2. Metodo agli stati limite	» 45
2.10. Dimensionamento delle fasce piene	» 46
2.11. Calcolo degli abbassamenti	» 49
2.12. Verifica a punzonamento	» 50
2.12.1. Metodo delle tensioni ammissibili	» 50
2.12.2. Metodo agli stati limite	» 51
2.13. Traslazione del diagramma dei momenti	» 51
2.14. Verifica sezioni con travetti o lastre prefabbricate	» 52
2.14.1. Considerazioni su travetti e lastre prefabbricate	» 55
2.15. Le verifiche in esercizio	» 56
2.15.1. Metodo delle tensioni ammissibili	» 57
2.15.2. Metodo allo stato limite ultimo	» 58
2.16. Metodo di calcolo per le verifiche in esercizio	» 62
2.16.1. Calcolo dell'asse neutro per sezioni reagenti a trazione	» 63
2.16.2. Calcolo del momento di prima fessurazione	» 67
2.16.3. Calcolo teorico della distanza e dell'ampiezza delle fessure	» 68
2.16.4. Calcolo pratico della distanza e dell'ampiezza delle fessure	» 72
2.16.5. Parametri necessari per il calcolo della fessurazione	» 75
2.16.6. Il contributo del calcestruzzo teso (tension stiffening)	» 76
2.17. Considerazioni sulla deformabilità della struttura	» 79
2.18. Il calcolo effettivo degli abbassamenti	» 82
2.19. Modalità per l'esecuzione delle prove di carico	» 83
2.20. Interpretazione dei risultati delle prove di carico	» 86
2.21. Convenzione sui segni e unità di misura	» 87

PARTE SECONDA
Il manuale d'uso

3. Il programma solai in cemento armato

3.1. Premessa	»	91
3.2. Installazione	»	91
3.2.1. Requisiti hardware e software	»	91
3.2.2. Installazione del programma	»	92
3.3. Attivazione del programma	»	92
3.3.1. Sistema di protezione	»	93
3.3.2. Istruzioni per l'attivazione via Internet	»	93
3.3.3. Attivazione telefonica	»	93
3.4. Assistenza tecnica	»	93
3.5. Modalità per l'inserimento dei dati	»	94
3.5.1. La finestra principale	»	94
3.5.2. Opzioni della finestra principale	»	100
3.5.3. Comandi della finestra principale	»	104
3.5.4. Finestra grafica di controllo e correzione dati di input	»	105
3.5.5. Toolbar	»	106
3.5.6. Zona messaggi della finestra principale	»	109
3.5.7. Messaggi di controllo alla normativa	»	110
3.5.8. Messaggi sull'esito della verifica della struttura	»	111
3.6. Finestra criteri di progetto	»	112
3.7. Criteri di progetto per verifiche con SLU e SLE	»	115
3.8. Finestra disegno solaio con armature	»	118
3.8.1. Verifica allo stato limite di esercizio (simbologia verifiche non soddisfatte)	»	126
3.8.2. Finestra parametri disegno ferri	»	128
3.8.2.1. Comandi di chiusura della finestra parametri disegno ferri	»	130
3.8.3. Icone del menu grafico (rappresentazione risultati)	»	131
3.9. Diagrammi	»	135
3.10. Stampa dei tabulati	»	139
3.11. Gestione del progetto	»	142

4. Interpretazione dei risultati

4.1. Tabulato delle sezioni tipo	»	145
4.2. Tabulato delle condizioni di carico	»	146
4.3. Tabulati relativi alla risoluzione della struttura	»	147
4.4. Tabulato delle verifiche della struttura	»	149
4.5. Tabulato delle verifiche in esercizio	»	152

5. Esempio di calcolo

5.1. Premessa	»	155
5.2. Relazione di calcolo con metodo alle tensioni ammissibili	»	156
5.4. Diagrammi del momento flettente e del taglio prodotti dal programma	»	178
5.5. Disegno solaio con armature	»	179

BIBLIOGRAFIA	»	183
--------------------	---	-----

Prefazione

Il lettore superficiale che, di qui a non molto, gettasse uno sguardo svagato oltre la vetrina d'una libreria di testi tecnici e scorgesse, fresca di stampa, la quarta edizione di questo trattato sui solai in cemento armato, potrebbe forse pensare d'esser di fronte all'ennesimo sussidio professionale, uno fra i tanti che affollano il mercato specializzato, ma nulla di più: bella veste editoriale, molte promesse di risparmio di fatica per l'operatore, immediata "praticità" d'uso dell'allegato supporto elettronico. Ma fondamenti scientifici alquanto disinvolti, cioè tali da contribuire pochissimo alla vera *formazione* del tecnico, specie se questo sia giovane e ancora non del tutto esperto. Mentre è proprio quella *limpidezza scientifica* che si dovrebbe, prima d'ogni altra dote, pretendere da un testo. Tali appunti non potrebbero certo muoversi al volume, che ho l'onore di commentare e introdurre.

Che si tratti di un'opera diversa, un testo *di rigore e di rango* già da solo lo testimonia l'ampio stuolo di lettori, questi certamente non superficiali, ma avvertiti e competenti, che ne hanno esaurito ben tre edizioni!

Invero, alla luce delle precedenti versioni, che l'autore ebbe la cortesia di donarmi e che ho compulsato, studiato e usato professionalmente, e reduce, come sono, da una scorsa, data alle bozze della presente quarta, mi si confermano i pregi del trattato di Michele Sanginisi.

Intanto, anche questo volume (come altri prodotti del genere) possiede una dignitosa conformazione editoriale, offre grande agilità di consultazione, garantisce un efficace e spedito impiego dell'utilissimo supporto informatico.

Ma già una menzione del tutto speciale merita l'accuratezza delle indicazioni (aggiornatissime) che si riferiscono alla recente normativa, di cui larghi estratti, per comodità del lettore, sono riportati integralmente.

Però la qualità, che m'è apparsa di gran lunga più lodevole a fronte delle molte che ho appena riconosciuto al volume, risiede infine nella chiarezza scientifica con cui i formulari e le procedure di calcolo sono esaurientemente fondati e adeguatamente giustificati. Sono fermamente convinto che, senza il rigore fisico-matematico dei presupposti, ben poco si potrà compiere nell'esercizio della difficile arte del costruire (e proprio siffatti principi metodologici hanno reso

grande la tradizione ingegneristica italiana, da almeno due secoli a questa parte). In tal senso la lettura di quest'opera è stata per me fonte di vero diletto.

E così son certo che appagherà l'aspirazione di conoscenza e l'esigenza progettuale di ogni autentico strutturista.

Auguro perciò all'autore (cui mi lega una lunga consuetudine di comuni studi e una salda amicizia) e al benemerito editore il più caldo successo per questo prezioso sussidio scientifico e professionale.

Acireale, settembre 2010

Angiolo Maria Bella

Premessa

I solai in latero-cemento armato sono strutture che trovano ampia diffusione nelle costruzioni civili e industriali, realizzate sia in muratura portante sia con strutture in cemento armato. Se bene organizzate e armonizzate con la restante struttura portante, essi costituiscono dei diaframmi rigidi nel proprio piano che, oltre ad assorbire i carichi verticali per cui sono progettati e destinati, trasferiscono in modo ottimale le azioni orizzontali provocate dai terremoti alla struttura portante. Tali manufatti, la cui importanza però spesso viene sottovalutata, sono considerati a torto come *strutture secondarie* che non necessitano di calcoli particolari: è ormai consuetudine procedere al calcolo, in modo giudicato impropriamente cautelativo, individuando solo le massime sollecitazioni flettenti positive e negative servendosi unicamente della nota formula $M = 1/8 q \cdot l^2$.

In tal modo, però, taluni aspetti vengono sottovalutati e possono generare situazioni non prevedibili, mentre affrontarli e risolverli con calcoli certamente non sofisticati costituisce la miglior cautela per il progettista. I problemi che più frequentemente vengono sottovalutati sono: la differenza di luci tra campate continue e l'alternanza delle azioni accidentali nelle varie campate del solaio; tali situazioni sono quelle che generano una distribuzione spesso imprevedibile delle sollecitazioni interne (momenti e tagli).

Altre importanti problematiche si riscontrano nel brusco cambio di sezione che si ha nelle zone di appoggio al termine delle fasce piene, ove la sezione da rettangolare diventa a T con zona compressa solitamente nell'anima: tale circostanza evidenzia un sottodimensionamento della sezione per flessione o anche per taglio, dovuto al superamento della tensione tangenziale massima. Spesso altri aspetti ancora non vengono presi nella giusta considerazione lasciando assolutamente irrisolte problematiche che meritano una seppur minima trattazione.

Il programma allegato al presente testo costituisce un giusto compromesso, in quanto affronta la problematica dei solai continui in modo semplice e immediato, proponendo soluzioni complete ed esaurienti, e lasciando allo stesso tempo al progettista la possibilità di regolazione di tutti i parametri che governano sia l'input sia il calcolo sia tutte le stampe (relazioni e disegni) e ciò anche nel rispetto di tutta la normativa attualmente in vigore in merito alle strutture in cemento armato, con particolare riferimento ai solai in latero-cemento.

Il programma di calcolo allegato consente la risoluzione completa di strutture portanti costituite da solai in latero-cemento armato (con o senza elementi prefabbricati) ad asse rettilineo.

Grazie ai consigli e ai suggerimenti degli utenti è stata apportata una serie di modifiche, integrazioni e potenziamenti al programma.

Tra le principali novità apportate al programma si ricorda la possibilità di utilizzo di elementi prefabbricati ad armatura lenta, la possibilità di variare le tipologie degli appoggi e dei carichi permanenti per ciascuna campata, la possibilità di ottenere i diagrammi della linea elastica e delle rotazioni, il potenziamento e l'ottimizzazione sia delle fasi di input, delle routine di calcolo, con la possibilità della verifica a fessurazione mediante gli algoritmi dell'Eurocodice 2, il potenziamento dei criteri di progetto, il potenziamento delle fasi di stampa della relazione di calcolo e dei disegni (ora anche in formato DXF e BMP), e di altre opzioni ancora tra cui la perfetta compatibilità con gli archivi della prima edizione.

L'entrata in vigore dell'Ordinanza 3274 ha imposto un nuovo aggiornamento del programma, soprattutto per quanto riguarda le verifiche agli stati limite: di conseguenza, per soddisfare le esigenze di centinaia di utenti, si è proceduto alla completa revisione del programma di calcolo e del testo e, lasciando sempre funzionante il modulo di calcolo e verifica con il classico metodo delle tensioni ammissibili, sono state implementate, in alternativa, anche le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e agli stati limite di esercizio (SLE): tale implemento, oltre a prevedere una lunga serie di nuovi parametri di progetto, direttamente connessi al nuovo metodo di calcolo e verifica, ha imposto anche una serie di potenziamenti della fase di controllo dei risultati e nella fase di disegno con un sensibile potenziamento nella manipolazione dei ferri oltre a una ottimizzazione della relazione di calcolo.

Con l'entrata in vigore delle *Nuove norme tecniche per le costruzioni* di cui al D.M. 14/01/2008, anche se per i solai non sono state introdotte sostanziali novità, si è ritenuto ugualmente opportuno effettuare un aggiornamento sia del testo sia del software, per allineare alcuni parametri alla nuova norma e per apportare al software alcune migliorie e potenziamenti sia alle routine di gestione e calcolo che a quelle di stampa e disegno.

Il software, che ovviamente esegue il progetto utilizzando il metodo agli stati limite, continua a mantenere anche il motore di calcolo con il vecchio metodo delle tensioni ammissibili sia perché non del tutto abbandonato (si veda paragrafo 2.7 del D.M. 14/1/2008) nonché sia per agevolare gli utenti nelle verifiche di vecchie strutture esistenti.

PARTE PRIMA
Teoria

CAPITOLO 1

Normativa di riferimento

Nel presente capitolo vengono riportati i principali riferimenti della normativa relativa alle strutture in cemento armato e specificatamente ai solai.

1.1. Premessa

Considerato che nel paragrafo 2.7 delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 viene concessa la possibilità di utilizzo del metodo alla tensioni ammissibili per le costruzioni appartenenti alla tipologia 1 e 2 e alle classi I e II di cui al citato D.M., limitatamente a siti ricadenti in zona 4, la normativa a cui fare riferimento per tale metodo è la seguente:

- D.M. LL.PP. 14/02/1992: *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- D.M. LL.PP. 16/02/1996: risulta suddiviso in due parti e precisamente:
 - *Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;*
 - *Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.*
- Circolare 10/04/1997 n. 65/AA.GG.: *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/01/1996.*

Per quanto riguarda invece le verifiche con il metodo agli stati limite, i riferimenti normativi sono:

- D.M. LL.PP. 14/01/2008: Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni che risultano suddivise in 12 capitoli e 2 allegati;
- Eurocodici con riferimento alle strutture in cemento armato il codice di riferimento è in n. 2 dal titolo *Progettazione delle strutture in calcestruzzo.*

1.2. Cenni sul Decreto ministeriale 14 gennaio 2008

Il predetto decreto ministeriale raccoglie in un unico testo buona parte della normativa previgente riguardante le azioni da prendere in considerazione, le varie

tipologie costruttive (cemento armato, muratura, legno, acciaio e miste), la progettazione geotecnica, le opere di sostegno, le opere di consolidamento nonché materiali e metodi di verifica; fornisce, tra l'altro, i nuovi metodi per la valutazione delle azioni sismiche e per progettazioni più innovative quali i dispositivi antisismici (isolatori).

Con specifico riferimento ai solai in cemento armato, le norme da prendere in considerazione in merito alla tematica in oggetto sono le seguenti:

- capitolo 2: *Sicurezza e prestazioni attese*: tratta i concetti di stati limite, vita nominale, classe d'uso, classificazione delle azioni, combinazione delle azioni e tipologia delle verifiche;
- capitolo 3: *Azioni sulle costruzioni*: tratta in modo specifico le varie tipologie di azioni quali vento, neve, sisma, temperatura e comprende anche le tabelle di pesi propri, carichi permanenti e carichi variabili;
- capitolo 4: *Costruzioni civili ed industriali*: riguarda le varie tipologie di costruzioni e, al paragrafo 4.1, tratta in modo specifico delle costruzioni in calcestruzzo affrontando i materiali, metodi di analisi e di verifica sia allo stato limite ultimo (SLU) sia allo stato limite di esercizio (SLE), dettagli costruttivi, esecuzione e le norme specifiche sui solai; nei restanti paragrafi affronta le costruzioni in acciaio, quelle miste acciaio-calcestruzzo, quelle in legno quelle in muratura ed in altri materiali. Tratta sui concetti di stati limite, vita nominale, classe d'uso, classificazione delle azioni e tipologia delle verifiche;
- capitolo 9: *Collaudo statico*: tratta le prescrizioni generali e le prove di carico;
- capitolo 10: *Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo*: riguarda i contenuti sostanziali del progetto strutturale con gli elaborati minimi da predisporre, nonché il contenuto esplicito della relazione generale in merito all'analisi svolta, all'affidabilità dei codici di calcolo e alla loro validazione, nonché alla modalità di presentazione dei risultati e al giudizio motivato della loro accettabilità;
- capitolo 11: *Materiali e prodotti per uso strutturale*: riguarda in modo specifico i materiali strutturali da utilizzare nelle costruzioni, indicando per ciascuno di essi specifiche tecniche, resistenze, metodo prelievo controllo e accettazione, nonché le specifiche caratteristiche tecniche (resistenze, modulo elastico, coefficienti vari, ecc.): in particolare il paragrafo 11.2 riguarda il calcestruzzo, il paragrafo 11.3 riguarda l'acciaio in barre da cemento armato e il paragrafo 11.8 riguarda i componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p.

Si rimanda al CD allegato in cui sono riportati stralci del Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 che hanno una stretta attinenza all'argomento della presente pubblicazione.

1.3. Stralcio Eurocodice 2

Infine, con riferimento all'Eurocodice 2, si riporta lo stralcio relativo al calcolo dell'ampiezza e della distanza tra le fessure per sezioni soggette a flessione:

... (omissis) ...

4.4.2.4. Calcolo dell'ampiezza delle fessure

P(1) L'ampiezza di calcolo delle fessure può essere ottenuta dalla equazione:

$$w_k = \beta s_m \varepsilon_{sm}$$

dove:

w_k è l'ampiezza di calcolo delle fessure;

s_m è la distanza media finale tra le fessure;

ε_{sm} è la deformazione media che tiene conto, nella combinazione di carico considerata, degli effetti di "tension stiffening", del ritiro, ecc.;

β è il coefficiente che correla l'ampiezza media delle fessure al valore di calcolo.

Nell'equazione può essere assunto per β un valore pari a:

1,7 per fessurazione indotta da carichi e per fessurazione indotta da deformazione impedita in sezioni con dimensione minima maggiore di 800 mm;

1,3 per fessurazione indotta da deformazione impedita in sezioni con dimensione minima (indifferentemente altezza, larghezza o spessore) pari a 300 mm o minore.

Per dimensioni di sezione intermedie i valori possono essere interpolati.

ε_{sm} può essere calcolata con l'equazione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]$$

dove:

σ_s è la tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata;

σ_{st} è la tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata nella condizione di carico che induce la prima fessura;

β_1 è il coefficiente che tiene conto delle proprietà di aderenza delle barre, pari a:

1,0 per barre ad aderenza migliorata;

0,5 per barre lisce;

β_2 è il coefficiente che tiene conto della durata del carico o di carichi ripetuti, pari a:

1,0 per un singolo carico di breve durata;

0,5 per un carico di lunga durata o per molti cicli di carico ripetuti.

Per elementi soggetti solo a deformazioni impresse impedito, σ_s può essere assunta pari a σ_{sr} .

(3) La distanza media finale tra le fessure, per elementi soggetti principalmente a flessione o trazione, può essere calcolata in base alla seguente equazione:

$$s_m = 50 + 0,25k_1 k_2 \frac{\varnothing}{\rho_r}$$

dove:

\varnothing è il diametro delle barre in mm; se nella stessa sezione sono impiegati più diametri, può essere adottato un diametro medio;

k_1 è il coefficiente che tiene conto delle proprietà di aderenza delle barre, pari a 0,8 per barre ad aderenza migliorata e 1,6 per barre lisce. Nel caso di deformazioni impresse k_1 può essere sostituito da $k_1 \cdot k$, con k definito in 4.4.2.2 (3);

k_2 è il coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle deformazioni, pari a 0,5 per flessione e 1,0 per trazione pura.

In caso di trazione eccentrica, o per singole parti di sezione, vanno di regola usati valori intermedi di k_2 , che possono essere calcolati con la relazione:

$$k_2 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2\varepsilon_1}$$

dove:

ε_1 e ε_2 sono rispettivamente la più grande e la più piccola deformazione di trazione agli estremi della sezione considerata, calcolate per sezione fessurata;

ρ_r è il rapporto di armatura efficace $A_s/A_{c,eff}$ dove A_s è l'area dell'armatura con tenuta nell'area tesa efficace $A_{c,eff}$ l'area di trazione efficace è in genere l'area di calcestruzzo che circonda le armature tese, di altezza pari a 2,5 volte la distanza dal lembo teso della sezione al baricentro dell'armatura (vedere fig. 4.33). Per piastre o elementi precompressi, in cui l'altezza della zona tesa può essere piccola, l'altezza dell'area efficace non deve di regola essere assunta maggiore di $(h - x)/3$.

Il valore risultante di s_{mm} è espresso in millimetri.

- (4) Nel calcolo della distanza delle fessure possono essere considerate le armature di precompressione collocate all'interno di un'area quadrata di 300 mm di lato intorno alle armature stesse, purché si tenga conto del comportamento di tali armature nei confronti dell'aderenza. Valori appropriati di k_1 , per armature particolari devono di regola essere ricavati da prove sperimentali; in assenza di dati più attendibili può essere assunto un valore pari a 2,0. Se sono presenti contemporaneamente armature per precompressione e armature ordinarie, nella equazione [4.82] $k_1 \varnothing$ può essere sostituito da $\sum k_1 \varnothing / n$, dove $\sum k_1 \varnothing$ è la somma dei diametri di tutte le barre e delle armature di precompressione all'interno dell'area considerata, ciascuno moltiplicato per il corrispondente coefficiente di aderenza, e n è il numero totale di barre e armature di precompressione.
- (5) Se le fessure formano un angolo significativo ($> 15^\circ$) rispetto alla direzione dell'armatura in elementi armati secondo due direzioni ortogonali, la distanza tra le fessure può essere calcolata con la equazione [4.83]:

$$s_{mm} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{mx}} + \frac{\sin \theta}{s_{my}}} \quad [4.83]$$

dove:

θ è l'angolo tra l'armatura in direzione x e la direzione della tensione principale di trazione; s_{mx} e s_{my} sono le distanze calcolate rispettivamente in direzione x e y usando l'equazione (4.82).

- (6) Se il calcolo dell'ampiezza delle fessure viene effettuato in situazioni di progetto in cui la tensione di trazione deriva da una combinazione di deformazioni impresse impedito e di carichi, possono essere usate le formule indicate in questa sezione, ma la deformazione dovuta ai carichi, calcolata in sezione fessurata, va di regola incrementata di quella risultante dalle deformazioni impresse.
- (7) I metodi descritti in questa sezione permettono di calcolare l'ampiezza di calcolo delle fessure in una zona vicino all'armatura aderente (cioè all'interno dell'area di trazione efficace). Al di fuori di tale zona possono verificarsi fessure più ampie.

- (8) Nel caso in cui non sia presente dell'armatura aderente nella zona dove deve essere verificata la fessurazione, può essere determinato un limite superiore dell'ampiezza delle fessure per le situazioni in cui le forze e i momenti sono tali da mantenere compressa una parte della sezione stessa. In tal caso la distanza media delle fessure può essere assunta pari all'altezza delle fessure stesse. Esempi di situazioni in cui vale quanto detto sono:
- elementi inflessi con spaziatura delle barre molto ampia. In questo caso l'ampiezza delle fessure può essere calcolata assumendo $s_m = (h - x)$, dove h è l'altezza totale dell'elemento e x misura la posizione dell'asse neutro;
 - muri soggetti a contrazione termica precoce, dove la parte inferiore del muro non può contrarsi perché vincolata a una base gettata precedentemente. In questo caso s_m può essere assunto pari all'altezza del muro.

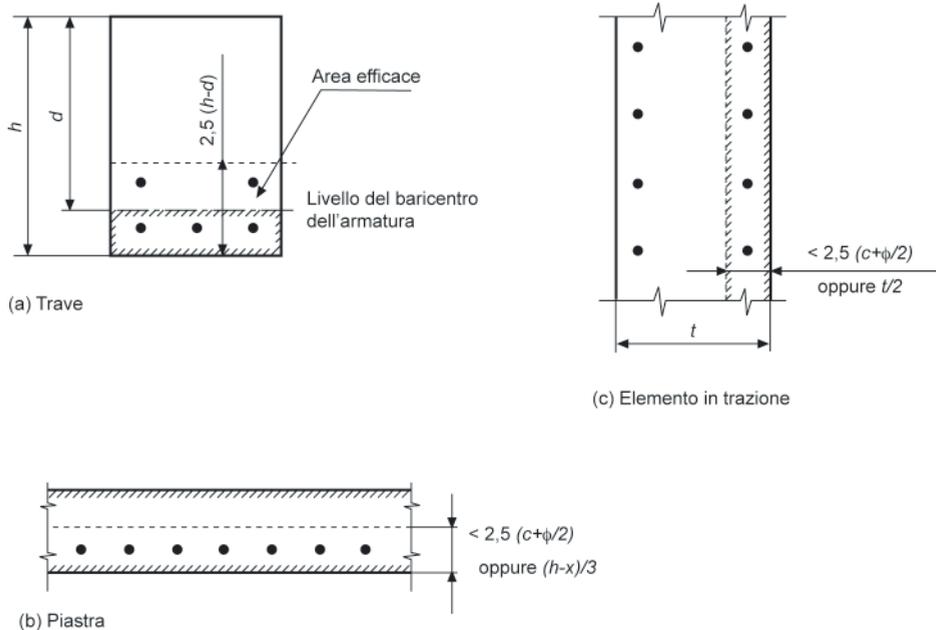


Figura 1.1. Area efficace (casi tipici)

CAPITOLO 2

Metodi di calcolo

2.1. Ipotesi di base

Il modello di calcolo utilizzato per la risoluzione della struttura è quello della trave continua su più appoggi a livello, con eventuali sbalzi alle estremità; gli appoggi, che rappresentano le travi portanti del solaio, vengono trattati come cerniere esterne, nel senso che le campate del solaio mantengono la loro continuità strutturale trasferendo all'appoggio esclusivamente i carichi verticali, senza che questi possano subire rotazioni o cedimenti verticali; viene pertanto trascurata la rigidità torsionale e flessionale delle travi di appoggio, con esclusione solo degli appoggi terminali che, in caso di assenza di sbalzi, consentono al progettista di regolare il grado di vincolo in funzione della trave di appoggio e delle modalità di ancoraggio delle armature, secondo un semplice coefficiente di cui si riferirà in modo appropriato.

Il calcolo del solaio viene effettuato con riferimento al singolo travetto di solaio, considerando la quota parte di azioni esterne espresse in kg/m^2 che competono al singolo travetto; al solaio è possibile applicare carichi uniformemente distribuiti su tutte le campate secondo una modalità automatica che prende in esame tutte le possibili combinazioni di carico che generano le massime sollecitazioni in ciascun appoggio e in ciascuna campata (che possono essere anche modificate dall'utente), oppure in modalità manuale: in quest'ultimo caso l'utente è libero di applicare i carichi variando intensità per ciascuna campata, distribuzione e combinazioni a proprio piacimento; per gli sbalzi è possibile aggiungere una coppia concentrata e/o un carico verticale nonché considerare l'eventuale azione sismica verticale.

2.2. Descrizioni delle fasi di calcolo

Completato l'input dei dati (che normalmente consiste nell'attribuire le luci alle campate), il passaggio alle fasi successive (salvataggio, calcolo, diagrammi e disegno ferri) viene preceduto da una serie di controlli di seguito esposti.

1° CONTROLLO

Si verifica la congruenza dei dati di input e, in caso ve ne fossero, l'utente viene guidato alla loro correzione. Si evidenzia che gli errori accertati in questa fase devono essere necessariamente rimossi, per poter procedere alle fasi successive.

2° CONTROLLO

Si verifica la rispondenza alla normativa, evidenziando eventuali inosservanze, ma lasciando al progettista la facoltà di apportare le correzioni necessarie o di procedere ugualmente alle fasi successive.

3° CONTROLLO

Si effettua un controllo sull'esito delle verifiche di tutte le sezioni esaminate e vengono lanciati i messaggi di eventuali verifiche non soddisfatte, lasciando al progettista la facoltà di apportare le correzioni necessarie o di procedere ugualmente alle fasi successive.

La fase di calcolo provvede alla determinazione delle sollecitazioni flettenti e taglianti per ciascuna delle condizioni di carico, sia in corrispondenza degli appoggi che nelle campate; quindi, con riferimento alle sollecitazioni più gravose, vengono progettate le armature a flessione di ogni singolo travetto nelle sezioni più significative (considerando l'effettiva geometria e trascurando il contributo dei blocchi di alleggerimento), con il metodo di risoluzione scelto (tensioni ammissibili o stati limiti ultimi e di esercizio), procedendo prima all'individuazione delle sollecitazioni di momento flettente e taglio e, successivamente, al dimensionamento delle armature e a quello delle fasce piene, il tutto sulla base dei criteri di progetto definiti. Il calcolo delle fasce piene riveste una certa importanza in quanto, al termine della fascia piena, si ha un brusco cambio di sezione che da rettangolare diventa a T; infine vengono calcolati gli abbassamenti massimi che si verificano nelle zone centrali delle campate e all'estremità degli sbalzi.

La predetta fase di calcolo viene collegata con altre opzioni, in funzione a quanto richiesto dall'utente e in particolare.

FASE 1

Viene attivata la visualizzazione grafica dei diagrammi del momento flettente e del taglio, in cui sono attive diverse funzioni grafiche per la verifica e il controllo dei dati di input e output; è anche possibile effettuare le fasi di stampa su carta (tramite stampante interfacciata con Windows) dei relativi diagrammi.

In tali fasi, attivando una sola condizione di carico, è possibile visualizzare il diagramma della linea elastica o degli abbassamenti (in abbinamento al diagramma del momento flettente) e il diagramma delle rotazioni (in abbinamento al digram-

ma del momento flettente e/o del taglio) per la parte di solaio visualizzata; tali diagrammi sono particolarmente utili per determinare con un semplice spostamento del mouse il valore degli abbassamenti e delle rotazioni in un qualunque punto del solaio, circostanza questa particolarmente utile per le fasi di collaudo statico della struttura.

FASE 2

Viene attivata la visualizzazione grafica del disegno del solaio e delle relative armature a flessione; anche in tale fase sono attive diverse funzioni grafiche per la verifica e il controllo dei dati di input e output. In questa fase di disegno ferri, è anche possibile intervenire nella disposizione delle armature, con manipolazioni guidate dall'utente e sempre controllate dal programma; infine dopo tutte le modifiche necessarie, è possibile attivare le fasi di stampa su carta (tramite stampante interfacciata con Windows) del disegno ferri completo del computo dei materiali e dei particolari costruttivi e delle sezioni tipo utilizzate.

In questa fase, posizionando il cursore su una campata, cliccando sul tasto destro o sinistro del mouse è possibile attivare e visualizzare per la campata in esame l'esito di tutte le verifiche, che assumono forma diversa (testuale o grafica) a seconda se si opera con il metodo delle tensioni ammissibili (TA) o agli stati limite (SL); una sostanziale novità introdotta riguarda la manipolazione delle armature, in aggiunta alle possibilità già esistenti: infatti, cliccando direttamente su un ferro di armatura, si attiva un'apposita finestra che visualizza per la campata in esame le armature disposte per posizione e per quantità; per ciascuna posizione è possibile variare la quantità di tondini e il programma controlla in modo assolutamente automatico che la quantità introdotta non sia inferiore a quella di calcolo. Qualora si operi con il metodo agli SL il programma inoltre provvede sempre alle riverifiche globali della struttura sulla base delle armature effettivamente disposte nel disegno.

FASE 3

Viene attivata la fase di stampa della relazione di calcolo, con possibilità di dirottare le uscite sia su files in formato ASCII e/o RTF (leggibile da qualsiasi programma di elaborazione testi e quindi facilmente modificabile per eventuali aggiunte e integrazioni), sia su video per un controllo generico della relazione sia su stampante (tramite stampante interfacciata con Windows). La predetta fase è preceduta da una serie di opzioni sulle fasi di stampa e sulla scelta del formato della carta e/o del numero di righe stampabili.

Alle fasi precedentemente descritte devono aggiungersi le ulteriori procedure di gestione che prevedono la fase di salvataggio di un progetto o lavoro su disco e la fase di caricamento di un progetto da disco; tali fasi sono guidate con le finestre di dialogo tipiche di Windows.

Oltre al salvataggio dell'intero progetto, è possibile una nuova modalità di salvataggio, ovvero il salvataggio di un *modello*: con tale termine è possibile salvare in un file con estensione .mod tutti i criteri di progetto definiti, i dati sui carichi e quelli delle sezioni tipo, escludendo solo i dati geometrici del solaio. Tale possibilità è particolarmente utile per inserire e salvare in un file .mod dati e parametri che ogni singolo utente di norma utilizza, per essere successivamente richiamati e utilizzati inserendo in input solo la geometria del solaio.

Inoltre, il programma è perfettamente in grado di leggere e ricalcolare i file dati generati con le versioni precedenti; in tale caso il programma in modo assolutamente automatico assegna ai nuovi parametri non previsti nella prima edizione i valori corretti.

L'ultima fase consta nella regolazione dei parametri che governano l'input, il calcolo e i disegni e che riguardano:

- archivio delle otto tipologie di travetti che è possibile utilizzare (sezioni rettangolari e a T, sia in opera che prefabbricati);
- archivio carichi permanenti e accidentali;
- archivio dei criteri di progetto per il calcolo del solaio;
- archivio dei criteri di progetto per il disegno del solaio e dei ferri;
- archivio parametri per verifiche agli stati limite (ultimi e di esercizio).

Il programma propone dei valori standard che l'utente può modificare secondo le proprie esigenze e rendere permanenti a ogni successivo riavvio del programma. In merito ai parametri standard, si fa presente che i dati proposti dal programma costituiscono valori che bene si adattano alla maggioranza dei casi che si possono riscontrare nella pratica.

Infine, nella maschera principale, sono presenti delle fasi di aiuto che guidano l'utente nelle fasi di input.

2.3. Organizzazione degli archivi

Il programma dispone di diversi file di supporto necessari per archiviare i dati; tutti gli archivi sono organizzati in modo tale che al primo avviamento del programma vengono inseriti dei valori standard o di default; l'utente può variare tutti i dati a proprio piacimento salvandoli e rendendoli attivi a ogni riavvio; qualora le variazioni non vengano salvate, esse restano attive solo per il progetto in linea. In ogni caso è possibile riattivare in tutti gli archivi i valori standard, valori che si adattano alla maggioranza dei casi che si possono riscontrare. Gli archivi in parola sono:

- archivio sezioni tipo;
- archivio tralicci in acciaio;

- archivio azioni esterne;
- archivio criteri di progetto;
- archivio parametri disegni;
- archivi parametri stati limite.

ARCHIVIO SEZIONI TIPO

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *ARCH6.SOL*) vengono salvati i dati delle sei tipologie di sezioni tipo che possono assumere forma a T e/o rettangolare.

ARCHIVIO TRALICCI IN ACCIAIO

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *PREF6.SOL*) vengono salvate le caratteristiche delle armature (tralicci in acciaio) dei due travetti prefabbricati eventualmente presenti, unitamente ad altri parametri necessari per la verifica del traliccio nella fase di montaggio, getto e maturazione; tale archivio è accessibile nel caso siano attive le sezioni 5 e/o 6 e per esse sia previsto l'inserimento del traliccio in acciaio.

ARCHIVIO AZIONI ESTERNE

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *DATI6.SOL*) vengono salvate le azioni esterne utilizzate dal programma (carichi permanenti, accidentali, ecc.).

ARCHIVIO CRITERI DI PROGETTO

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *PARA5.SOL*) vengono salvate tutte le caratteristiche dei materiali e altri coefficienti e parametri utilizzati dal programma in fase di calcolo (copriferro, minimi di armature, vincoli, fasce piene, ecc.).

ARCHIVIO PARAMETRI DISEGNI

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *DIS6.SOL*) vengono salvati tutti i parametri che governano il disegno ferri e il disegno della struttura.

ARCHIVIO PARAMETRI STATI LIMITE

Nel predetto archivio in formato ASCII (denominato *COEFF6.SOL*) vengono salvati tutti i parametri necessari per le verifiche con il metodo di calcolo agli stati limite ultimi e di esercizio.

ALTRI ARCHIVI

Sono inoltre presenti tre altri file di supporto di nome *CAP6.SOL*, *CART6.SOL* e *CLS6.SOL* contenenti ulteriori dati di supporto.

Si evidenzia che gli archivi di cui sopra vengono salvati nello stesso direttorio del disco ove è memorizzato il programma principale.

Per il salvataggio dei progetti, il programma utilizza un archivio in formato ASCII denominato (.prg) che contiene tutti i dati di input e i valori degli archivi sopra descritti, con i valori definiti al momento del salvataggio; al predetto archivio l'utente può assegnare un nome a proprio piacimento, mentre l'estensione è assegnata dal programma in modo automatico (.prg); per il salvataggio dei modelli viene utilizzato l'archivio .mod che contiene solo i dati dei cinque archivi prima descritti con i valori definiti al momento del salvataggio; anche per tale archivio il nome è libero, ma l'estensione è automatica (.mod).

A differenza degli archivi di cui sopra, quelli di *progetto* e *modello* possono essere salvati in qualunque direttorio del disco scelto.

Gli archivi in questione salvati sul disco in formato ASCII possono essere aperti con qualsiasi programma di elaborazione testi e facilmente modificabili. Si raccomanda vivamente di evitare qualsiasi tipo di modifica manuale ai file dati, sia come valori numerici che come sequenza nonché di eliminare o aggiungere valori. Qualsiasi modifica, anche minima, può compromettere il funzionamento del programma sia in fase di avviamento sia in fase di esecuzione a seguito di possibili errori di diversa natura, o può generare l'assegnazione di dati incongruenti o non adeguati ai vari parametri e criteri di progetto.

Le variazioni dei valori numerici associati agli archivi devono essere fatte esclusivamente attraverso le apposite procedure predisposte nel programma (SALVA AZIONI, SALVA PROGETTO, SALVA PARAMETRI, SALVA CRITERI DI PROGETTO, SALVA DATI TRALICCI).

2.4. Individuazione delle sollecitazioni massime

Premesso che con il metodo agli stati limite le classiche e note azioni accidentali vengono chiamate ora *azioni variabili*, il metodo per l'individuazione delle massime sollecitazioni è il medesimo per entrambi i metodi di calcolo, l'unica differenza riguarda i valori delle azioni permanenti e accidentali o variabili e in particolare:

- tensioni ammissibili;
- stati limite.

TENSIONI AMMISSIBILI

I valori delle azioni utilizzate per la risoluzione della struttura sono quelli indicati dal progettista nella fase di input e sono le note azioni permanenti e accidentali.

STATI LIMITI

I valori indicati dal progettista e definiti ora come *valori caratteristici* delle

azioni permanenti e variabili, per la risoluzione della struttura, vengono moltiplicati per opportuni coefficienti, ottenendo così le *azioni di calcolo*. I predetti coefficienti (riduttivi o maggiorativi delle azioni caratteristiche) assumono valori diversi a seconda della condizione di carico (assegnazione di coefficienti tali da migliorare sempre le sollecitazioni) e in funzione anche della combinazione di carico, ovvero distinguendo se si tratta di soluzione allo SLU o allo SLE che comprende a sua volta tre distinte condizioni di carico (condizione rara, condizione frequente, condizione quasi permanente).

Per l'esatta applicazione dei vari coefficienti da applicare ai valori caratteristici delle azioni si rimanda D.M. 14/01/2008.

Ciò premesso si passa ora a descrivere come vengono assegnate le azioni alle varie campate, nell'intento di ottenere le massime sollecitazioni.

Qualora l'utente nel campo N° DELLE CONDIZIONI DI CARICO selezioni l'opzione A, il programma esegue le seguenti azioni:

- individua il numero delle singole condizioni di carico;
- legge i carichi per le campate e gli sbalzi dalla sezione AZIONI ESTERNE;
- individua le combinazioni per la distribuzione dei carichi accidentali o variabili.

Tale procedura è stata appositamente studiata per individuare in modo automatico le massime sollecitazioni positive e negative, sia in campata sia negli appoggi e pertanto si ritiene utile darne un breve cenno.

La definizione delle condizioni di carico da prendere in esame, nel caso di solai monodirezionali a più campate, richiede uno studio dell'intera travata, in quanto prevede l'utilizzazione delle linee di influenza. In particolare, senza addentrarsi in argomentazioni prettamente teoriche, il numero delle condizioni di carico che il programma prevede in automatico è dato dalla seguente relazione:

$$N_{c.d.c.}^{\circ} = N_{campate\ solaio}^{\circ} + 1 + S$$

dove

$S = 0$ per solaio senza sbalzi

$S = 1$ in presenza di un solo sbalzo

$S = 2$ in presenza di entrambi gli sbalzi.

Infatti, per un solaio con tre campate e due sbalzi, il numero delle c.d.c. (condizioni di carico) è pari a 6 in quanto quattro condizioni servono per individuare le massime sollecitazioni sull'asse degli appoggi, le restanti invece per individuare le massime sollecitazioni positive e negative nelle tre campate interne.

Le predette ultime due condizioni si ottengono applicando i carichi accidentali nelle campate in modo alternato: così facendo, se in una condizione si caricano le campate pari e si scaricano quelle dispari, si ricavano le sollecitazioni massime

nelle campate pari e quelle minime nelle campate dispari; nella seconda condizione, caricando le campate dispari e scaricando quelle pari, si ottengono le sollecitazioni massime per le campate dispari e quelle minime per le campate pari. Per ottenere le massime sollecitazioni nei quattro appoggi è necessario per ciascun appoggio caricare le due campate adiacenti e le altre in modo alternato, così facendo infatti vengono individuate le altre quattro condizioni di carico.

Oltre alle condizioni di carico sopra individuate, il programma provvede a individuare un'ulteriore condizione di carico (la numero 0), che prevede la soluzione della struttura unicamente per effetto dei carichi permanenti, ovvero senza carichi accidentali.

Nello schema di figura 2.1 si notano le condizioni di carico di cui si è prima riferito e i vari posizionamenti dei carichi accidentali.

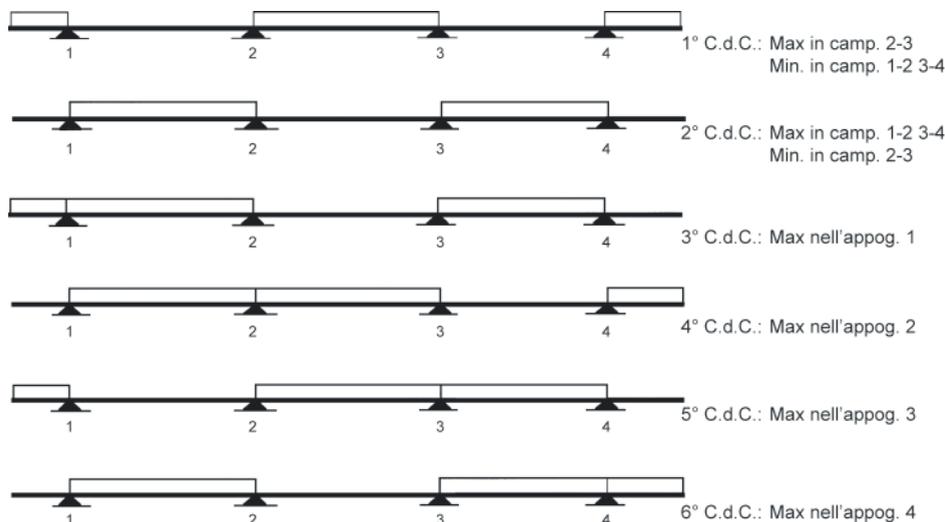


Figura 2.1

In merito ai carichi concentrati applicati all'estremità degli sbalzi della struttura (forza e coppia), essi sono considerati agenti solo nel caso in cui nello sbalzo agisce il carico accidentale distribuito; se lo sbalzo risulta privo del carico accidentale, le azioni concentrate, anche se previste, non vengono applicate. Tale situazione è stata appositamente valutata con l'intento di massimizzare le sollecitazioni.

Si tenga presente che per i predetti carichi concentrati non vengono considerate le azioni sismiche verticali.

Per quanto attiene il calcolo allo SLU, la combinazione di carico utilizzata è quella prevista al paragrafo 2.5.3. del D.M. 14/01/2008, definita *combinazione*

fondamentale che nel caso in esame, per la presenza di un solo carico variabile, assume il seguente aspetto:

$$G_k \cdot \gamma_g + Q_k \cdot \gamma_q$$

dove

G_k = valore caratteristico dell'azione permanente (strutturale e non strutturale)

Q_k = valore caratteristico dell'azione variabile

γ = coefficienti parziali delle azioni definite nella tabella 2.6.I del D.M. 14/01/2008 che per le strutture (STR) assumono i seguenti valori:

- permanente: 1,00 per situazione favorevole; 1,30 per situazione sfavorevole;
- variabile: 0,00 per situazione favorevole; 1,50 per situazione sfavorevole.

È evidente che per definire le combinazioni di carico di cui alla figura 2.1 i coefficienti attribuiti assumono i valori in modo alternato al fine di massimizzare le sollecitazioni di taglio e momento.

Per quanto riguarda, infine, la verifica con il metodo delle tensioni ammissibili, i coefficienti parziali maggiori dell'unità assumono sempre valore unitario.

2.5. Azione sismica sugli sbalzi

METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI

In presenza di sbalzi, la normativa prevede di considerare un'azione sismica verticale, attraverso i coefficienti K_v , s e I , variando adeguatamente il carico globale che agisce sullo sbalzo.

Operando in tale modo, si ha la possibilità di trovare le sollecitazioni massime e minime sia nella sezione di appoggio che nelle campate successive o precedenti all'appoggio.

La relazione utilizzata per calcolare il carico sismico dello sbalzo è la seguente:

$$Q_{sisma-vert.} = (g + q) \pm (g + s \cdot q) \cdot [K_v \cdot I]$$

dove

g = peso proprio e permanente

q = sovraccarico accidentale

s = coefficiente riduttivo del sovraccarico accidentale, dato dal punto C.6.1.1 del D.M. 16/01/1996 e pari a 0,33 - 0,50 - 1,00, in funzione della destinazione d'uso

K_v = incremento sismico verticale pari solitamente a 1,40

I = coefficiente di protezione sismico dato dal punto C.6.1.1 del D.M. 16/01/1996, e pari a 1,00 - 1,20 - 1,40 in funzione della necessità di protezione civile.

Nella predetta relazione, il segno positivo viene applicato quando sullo sbalzo agisce il carico accidentale ($q > 0$) e il segno negativo quanto sullo sbalzo manca il carico accidentale ($q = 0$).

Considerando il caso di uno sbalzo con $g = 400 \text{ kg/ml}$, $q = 300 \text{ kg/ml}$, $s = 0,33$ (abitazione), $K_v = 40\%$ ed $I = 1,00$ (abitazione civile), il carico sismico verticale totale vale 900 kg/ml nel caso di sbalzo carico; nel caso di sbalzo privo di accidentale (scarico), il carico sismico verticale è invece pari a 240 kg/ml^2 .

Nella condizione di carico numero zero, il carico sullo sbalzo è pari a 400 kg/ml . Nel caso in cui non si desideri considerare l'incremento sismico, è sufficiente assegnare al coefficiente K_v di incremento sismico verticale valore nullo.

Le eventuali azioni concentrate applicate alla estremità degli sbalzi non subiscono alcuna variazione per effetto dell'azione sismica in quanto esse, qualora previste, agiscono esclusivamente quando sullo sbalzo è applicato il carico accidentale.

METODO AGLI STATI LIMITE

Per la soluzione della struttura con il metodo agli stati limiti ultimi SLU, le azioni presenti sulla struttura vengono moltiplicate per i coefficienti gamma (si veda paragrafo 2.6.1 D.M. 14/01/08) sia per quanto riguarda i carichi permanenti che per quelli variabili e ciò al fine di trasformare i valori caratteristici delle azioni in valori di calcolo; l'applicazione di tali coefficienti risulta sempre maggiorativa del 30-40% per le situazioni sfavorevoli e pari a zero per le situazioni favorevoli. In particolare, con riferimento a una sola azione variabile e in assenza di azione sismica, la combinazione fondamentale statica (A_{sta}) allo stato limite ultimo nella situazione peggiorativa vale:

$$A_{sta} = G_k \cdot \gamma_g + Q_k \cdot \gamma_q$$

nella quale

G_k = valore caratteristico dell'azione permanente

Q_k = valore caratteristico dell'azione variabile

γ_g = coefficiente parziale dell'azione permanente (1,0 e 1,30)

γ_q = coefficiente parziale dell'azione variabile (0,0 e 1,50).

Mentre, considerando anche l'azione sismica la predetta combinazione fondamentale sismica (A_{sis}) allo stato limite ultimo, vale:

$$A_{sis} = E + (G_k + \Psi_{21} \cdot Q_k)$$

nella quale, oltre ai valori già indicati, si ha:

E = valore di calcolo dell'azione sismica

Ψ_{21} = coefficiente di combinazione dell'azione variabile, funzione della categoria del locale, che è sempre minore dell'unità (secondo la tabella 2.5.I del D.M. 14/01/08 valore compreso tra 0,00 e 0,80).

Applicando ai parametri prima indicati i valori $G_k = 500 \text{ kg/m}^2$, $Q_k = 400 \text{ kg/m}^2$, $\gamma_g = 1,40$, $\gamma_q = 1,50$ e $\Psi_2 = 0,50$ è immediato valutare che l'azione fondamentale statica risulta pari a 1300 kg/m^2 , ed essendo il termine $(G_k + \Psi_2 \cdot Q_k) = 700 \text{ kg/m}^2$, l'uguaglianza delle due combinazioni fondamentali si ha per un incremento sismico $E = 600 \text{ kg/m}^2$.

In altri termini, affinché l'azione fondamentale sismica superi l'azione fondamentale statica, è necessario che l'azione sismica sia dello stesso ordine di grandezza del termine $(G_k + \Psi_2 \cdot Q_k)$, circostanza questa difficilmente verificabile anche per zone sismiche ad alta intensità.

Al riguardo, il punto 7.2.1 del D.M. 14/01/2008 fissa i casi in cui è obbligatorio considerare l'azione sismica verticale, espressamente prevista nei seguenti casi:

- elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 metri;
- elementi a mensola con luce superiore a 4 metri;
- elementi precompressi (con esclusione dei solai con luce inferiore a 8 metri);
- strutture di tipo spingente;
- pilastri in falso;
- edifici con piani sospesi;
- ponti.

Alla luce di quanto finora esposto, è immediato concludere che, a meno che si tratti di casi previsti nei primi due punti (situazioni queste normalmente improbabili), l'azione sismica verticale non deve essere mai considerata.

In ogni caso, il programma, senza entrare nel sofisticato calcolo dell'azione sismica prevista dalla norma per i motivi esposti, dà in ogni caso la possibilità di applicare agli sbalzi un'azione sismica verticale secondo una procedura semplificata che lascia al progettista di agire con la massima libertà.

Il metodo utilizzato consiste nella variazione percentuale delle azioni permanenti applicate sugli sbalzi, variazione che, qualora sullo sbalzo agisca l'azione variabile, diventa un incremento e qualora l'azione variabile sia assente, un decremento: così facendo, si considera una pseudo-azione sismica che, combinata con le altre azioni nelle varie combinazioni di carico, tende sempre a massimizzare (in positivo e negativo) le azioni di momento e taglio, non solo nella sezione di incastro dello sbalzo, ma anche nelle sezioni delle campate intermedie.