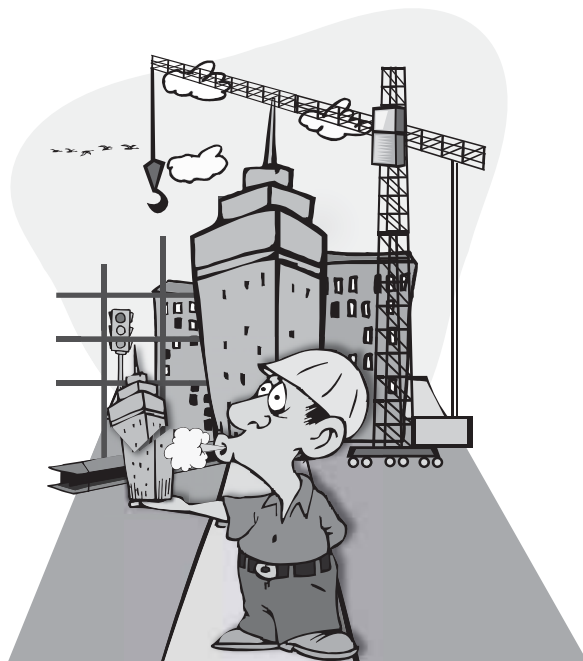


Riccardo Mariotti

EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO



**PROGETTO E VERIFICA DI STRUTTURE IN CALCESTRUZZO
SECONDO LE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008
E CIRCOLARE APPLICATIVA 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

CD-ROM INCLUSO

CON BANCA DATI NORMATIVA
E VERSIONE SHAREWARE DI "EDISIS"
SOFTWARE PER IL PROGETTO
E LA VERIFICA DI EDIFICI
MULTIPIANO IN C.A.

The logo for GRAFILL, featuring a stylized graphic of a building or structure above the word "GRAFILL" in a bold, sans-serif font.

Riccardo Mariotti
EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO

ISBN 13 978-88-8207-397-8
EAN 9 788882 073978

Manuali, 92
Prima edizione, giugno 2010

Mariotti, Riccardo <1961->
Edifici antisismici in cemento armato / Riccardo Mariotti.
– Palermo : Grafill, 2010.
(Manuali : 92)
ISBN 978-88-8207-397-8
1. Costruzioni antisismiche – Impiego [del] Cemento armato.
693.852 CDD-22 SBN Pal0227824
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

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

Finito di stampare nel mese di giugno 2010

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

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

*A mio padre e
mio figlio*

INDICE

PREFAZIONE	p.	9
1. CENNI DI SISMOLOGIA	"	11
1.1. Premessa	"	11
1.2. I metodi di calcolo	"	14
1.2.1. Il comportamento delle sezioni in cemento armato	"	14
1.2.2. Analisi storica	"	16
2. COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO	"	18
2.1. Le ipotesi fondamentali di calcolo del cemento armato	"	18
2.2. Vita nominale	"	18
2.3. Classi d'uso	"	19
2.4. Periodo di riferimento per l'azione sismica	"	19
2.5. Azioni caratteristiche	"	20
2.6. Azioni di calcolo	"	20
2.7. Combinazione delle azioni	"	21
2.8. Degrado	"	22
2.9. Azioni nelle verifiche agli stati limite	"	22
2.9.1. Stati limite ultimi	"	23
2.9.2. Stati limite di esercizio	"	24
2.9.3. Verifica agli stati limite di esercizio in condizioni non sismiche (rif. cap. 4 del D.M. 2008)	"	24
3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI (OPERE CIVILI E INDUSTRIALI)	"	30
3.1. Generalità	"	30
3.2. Pesi propri dei materiali strutturali	"	30
3.3. Carichi permanenti non strutturali	"	30
3.4. Elementi divisori interni	"	31
3.5. Carichi variabili	"	31
3.6. Carico neve	"	33
4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	"	35
4.1. Verifiche agli stati limite ultimi	"	35

4.1.2.	Resistenze di calcolo dei materiali	p.	35
4.1.3.	Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo e relativo modulo elastico.....	~	35
4.1.4.	Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo.....	~	36
4.1.5.	Resistenza di calcolo dell'acciaio.....	~	37
4.1.6.	Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo.....	~	38
4.2.	Resistenza a sforzo normale e flessione (elementi monodimensionali)	~	38
4.2.1.	Ipotesi di base	~	38
5.	IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	~	41
5.1.	Stato limite ultimo per tensioni normali.....	~	41
5.2.	I campi limite.....	~	41
6.	LA VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI.....	~	45
6.1.	I diagrammi di interazione	~	46
6.2.	La compressione semplice assiale	~	47
6.3.	La flessione semplice retta	~	48
6.3.1.	Sezione rettangolare con armatura semplice	~	49
6.3.2.	Sezione rettangolare con armatura doppia	~	52
6.3.3.	Sezione a T con armatura semplice soggetta a momento positivo	~	55
6.3.4.	Disposizione delle barre longitudinali e lunghezza di ancoraggio	~	58
6.3.5.	La presso flessione retta	~	59
6.3.6.	Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti.....	~	60
6.3.7.	Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio	~	62
6.3.8.	Elementi con armature trasversali resistenti al taglio	~	63
6.3.9.	Calcolo delle staffe	~	66
6.3.10.	Casi particolari.....	~	70
6.3.11.	Verifica al punzonamento di lastre soggette a carichi concentrati.....	~	71
7.	VERIFICA DEI SOLAI.....	~	75
7.1.	Verifica di deformabilità	~	78
7.2.	Freccia elastica istantanea	~	79
7.3.	Freccia differita	~	80
7.4.	Freccia totale a lungo termine	~	80
8.	COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA	~	85
	Zone sismiche.....	~	85

Generalità sulla normativa sismica	p.	87
8.1. Azione sismica.....	"	88
8.2. Stati limite e relative probabilità di superamento	"	91
8.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione.....	"	92
8.4. Caratteristiche dei materiali.....	"	92
8.5. Regolarità delle strutture	"	92
8.6. Distanza tra costruzioni contigue	"	94
8.7. Tipologie strutturali e fattori – Fattori di struttura – Analisi lineare – Tipologie strutturali.....	"	94
8.8. Schema per la valutazione dell'azione sismica	"	97
8.9. Analisi lineare dinamica o statica.....	"	101
8.9.1. Analisi lineare statica.....	"	101
8.9.2. Spostamenti.....	"	103
8.10. Dimensionamento e verifica degli elementi strutturali	"	103
8.10.1. Travi.....	"	104
8.10.2. Pilastri	"	106
8.10.3. Nodi trave-pilastro	"	108
8.11. Dettagli costruttivi	"	110
8.11.1. Limitazioni geometriche e di armatura per le travi.....	"	110
8.11.2. Limitazioni geometriche e di armatura per i pilastri.....	"	113
8.11.3. Limitazioni nodi trave-pilastro	"	114
8.11.4. Limitazioni geometriche e di armatura pareti	"	115
8.12. Costruzioni antisismiche in zona 4.....	"	116
9. OPERE DI FONDAZIONE.....	"	119
9.1. Generalità.....	"	119
9.1.1. Cenni alle fondazioni indirette	"	119
9.1.2. Le fondazioni dirette.....	"	122
9.2. Criteri generali di progetto	"	124
9.3. Fondazioni superficiali	"	127
9.3.1. Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)	"	127
9.3.2. Verifiche agli stati limite di esercizio (SLE).....	"	129
9.4. Requisiti strutturali degli elementi di fondazione	"	129
9.5. Collegamenti orizzontali tra fondazioni	"	130
10. DUTTILITÀ DELLE STRUTTURE E SCHEMI STATICI	"	135
10.1. Generalità.....	"	135
10.2. Cerniera plastica	"	136
10.3. Piano libero e tamponamenti	"	138
10.4. Fattore di struttura e gerarchia delle resistenze.....	"	139

11. ANALISI E VERIFICHE		
CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO	p.	142
12. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE DI FABBRICATO		
IN ZONA SISMICA	~	144
12.1. Introduzione	~	144
12.2. Progetto strutturale e processo edilizio	~	144
12.3. Fabbricato esempio	~	146
12.4. Terreno di fondazione	~	149
12.5. Analisi dei carichi e azioni sulla struttura	~	150
12.6. Valutazione dell'azione sismica	~	151
12.7. Regolarità	~	152
12.8. Classe di duttilità	~	153
12.9. Spettri di Progetto per SLU e SLD	~	153
12.10. Metodo di analisi	~	158
12.11. Combinazione delle componenti dell'azione sismica	~	159
12.12. Eccentricità accidentali	~	159
12.13. Stato limite di salvaguardia della vita	~	159
12.14. Stato limite di danno	~	161
12.15. Stati limite di esercizio	~	162
12.16. Armatura a Taglio e Flessione delle travi	~	163
12.17. Armatura pilastri	~	172
12.18. Codice di calcolo impiegato	~	176
12.19. Esempio di progettazione di ampliamento fabbricato	~	182
▼ GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE	~	199
Contenuti del CD-ROM allegato	~	199
Requisiti minimi hardware e software	~	199
Procedura per la richiesta della password (solo per la BANCA DATI) ...	~	199
Installazione del software	~	200
Registrazione del software (solo per la BANCA DATI)	~	201
▼ BIBLIOGRAFIA	~	202

PREFAZIONE

Il testo ha lo scopo di far comprendere ed applicare in modo pratico e fattivo le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 e la relativa Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. nella progettazione di strutture in calcestruzzo armato.

Nel testo sono trattati gli argomenti salienti della Normativa sismica dalla modellazione del comportamento dei materiali, ai metodi di analisi strutturale e di verifica delle opere mediante il metodo semiprobabilistico degli Stati Limite (combinazioni di carico, formule di verifica, ecc.), ai criteri con cui garantire l'adeguata "durabilità" della struttura.

Ampio spazio è dedicato alle verifiche agli SLU ed agli SLE di elementi monodimensionali, attraverso non solo la necessaria esplicitazione delle basi teoriche di calcolo ma anche delle modalità operative per risoluzione pratica di progetto e verifica delle sezioni in cemento armato sollecitate a sforzo normale, flessione, taglio e pressoflessione. Particolare attenzione è stata data anche ai problemi di calcolo dei solai e delle fondazioni.

Il lavoro risulta quindi un'utile guida operativa per lo svolgimento delle procedure di progetto e verifica di elementi in cemento armato e un valido strumento ad uso sia dei professionisti sia di coloro che si avvicinano per la prima volta al tema della progettazione di fabbricati in cemento armato in zona sismica.

In ultimo è stato svolto un progetto di un intero fabbricato mettendo in evidenza i principali risultati di calcolo e riscontrando anche manualmente i principali risultati ottenuti tramite elaborazione elettronica con un software di una primaria software house.

Pisa, giugno 2010

Ing. Riccardo Mariotti

CENNI DI SISMOLOGIA

▼ 1.1. Premessa

Un terremoto, o sisma, è un'improvvisa vibrazione del terreno prodotta da una brusca liberazione di energia e tale energia si propaga in tutte le direzioni (come una sfera) sotto forma di onde.

Quando una porzione di roccia inizia a deformarsi, essa offrirà una certa resistenza, variabile a seconda del tipo di roccia, ma quando le forze che tengono insieme la roccia vengono superate da quelle che le deformano allora questa si spezza e si ha un brusco spostamento delle due parti che rilasciano l'energia che avevano accumulato durante la deformazione e ritornano in uno stato indeformato.

Lo spostamento avviene sia verticalmente che orizzontalmente.

Queste rotture, ed i conseguenti spostamenti, avvengono lungo delle linee preferenziali (faglie); il punto da cui si propaga il terremoto è detto ipocentro, mentre lo stesso punto, portato in verticale sulla superficie terrestre, si chiama epicentro.

Una faglia è sostanzialmente una frattura nel terreno, profonda anche vari chilometri, lungo la quale avvengono i movimenti del terreno. Una faglia non è altro che una linea di minore resistenza della roccia sottoposta a pressioni e quindi la rottura avviene sempre lungo questa linea.

Le faglie sono di diverso tipo (a movimento semplice, a movimento complesso) ma tutte hanno in comune che lungo quella linea si ha un movimento relativo delle rocce.

La faglia di S. Andreas è di tipo trascorrente, cioè i movimenti del terreno avvengono sempre sul piano orizzontale e sta avvicinando la città di Los Angeles a quella di S. Francisco alla velocità di circa 2 centimetri all'anno.

In relazione alle forze agenti sulle masse rocciose si producono a livello dell'ipocentro due tipi fondamentali di onde sismiche: onde di compressione o longitudinali e onde di taglio o trasversali.

Le onde trasversali costringono le particelle rocciose a muoversi in direzioni perpendicolari rispetto alla direzione di propagazione dell'onda (assomigliano in questo alle onde elettromagnetiche). Sono più lente rispetto alle onde longitudinali ed arrivano all'epicentro con un ritardo che dipende naturalmente dalla profondità dell'ipocentro. Anche per esse la velocità di propagazione dipende dalle caratteristiche di elasticità e di densità della roccia attraversata.

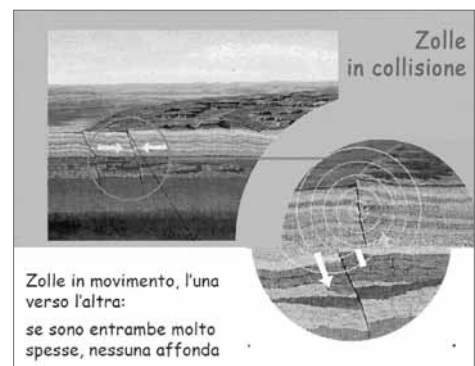
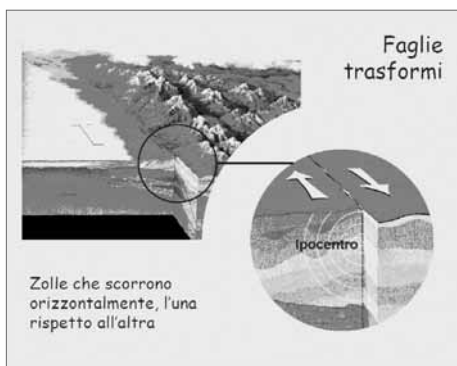
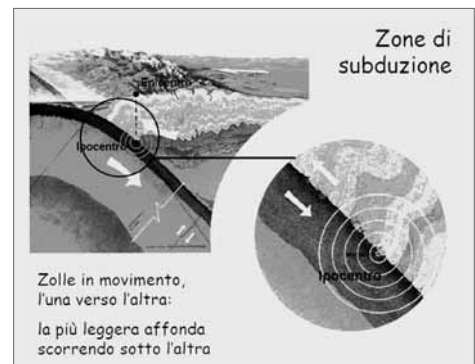
A parità di caratteristiche la loro velocità è poco meno della metà delle corrispondenti onde primarie. Arrivando sempre dopo le onde primarie vengono dette onde secondarie o *secundae* o, semplicemente, onde S. Possono propagarsi solo nei solidi mentre la loro energia viene rapidamente assorbita dai fluidi, dove non si propagano. Questa caratteristica viene utilizzata per evidenziare la presenza di strati rocciosi allo

stato fluido o plastico all'interno della terra. Essendo la vibrazione di tali onde perpendicolare alla direzione di propagazione, tali onde vengono avvertite sulla superficie terrestre come scosse ondulatorie.

L'interazione delle onde P ed S con la superficie terrestre produce un terzo tipo fondamentale di onde, dette onde superficiali o lunghe o, semplicemente, onde L. Le onde L partono dall'epicentro con una velocità che risulta circa il 90% di quella delle onde S ed arrivano perciò ai sismografi per ultime. Sono questo tipo di onde quelle che causano i danni alle case e alle fondazioni.

Vi sono due tipi principali di onde superficiali, le onde di Love e le onde di Rayleigh:

- *Onde di Love*: muovono il suolo orizzontalmente, parallelamente alla superficie terrestre, ma perpendicolarmente alla direzione di avanzamento dell'onda. Sono dunque onde superficiali trasversali.
- *Onde di Rayleigh*: muovono il suolo come le particelle d'acqua all'interno di un'onda marina secondo orbite ellittiche, aventi l'asse maggiore parallelo alla direzione di propagazione e quello minore perpendicolare alla superficie terrestre.



La classificazione dei terremoti avviene attraverso la scala Mercalli o la scala Richter. In Italia la più nota è la scala Mercalli, (Giuseppe Mercalli – 1897), basata solo sull'entità e sulla quantità dei danni attribuendo a questi un determinato valore che va da 1 (nessun danno, solo gli strumenti lo avvertono) a 10 (distruzione totale).

La scala Richter (Charles Richter – 1935) esprime la magnitudo, grandezza che si riferisce alle massime oscillazioni registrate dagli strumenti sismici in opportune condizioni e da una misura oggettiva dell'energia rilasciata.

Con il termine “scala Richter” (da F.C. Richter, sismologo statunitense degli anni '30) si vuole intendere la magnitudo, che è una misura della forza di un terremoto, fatta attraverso i sismografi.

I valori di magnitudo non sono inseriti all'interno di una scala poiché teoricamente un terremoto può assumere qualsiasi valore di magnitudo. Quindi non è corretto parlare di “scala Richter”.

I terremoti di cui è stata calcolata la magnitudo in questo secolo non hanno mai superato il valore 8.9 raggiunto nel 1933 in occasione del terremoto di Sanriku (Giappone) a seguito del quale ci furono circa 3000 vittime.

Il terremoto di Messina del 1908 (in occasione del quale ci furono circa 90.000 vittime) ha avuto una magnitudo di 7.2, mentre il terremoto irpino del 1980 (3000 vittime) ha avuto una magnitudo 6.9.

Scala Mercalli	
<i>Livello</i>	<i>Definizione effetto</i>
1	Strumentale. Sisma molto lieve non percepito dalle persone
2	Leggerissima. Percepito da persone in riposo nei piani superiori delle case o solo nelle immediate vicinanze
3	Leggera. Percepito nelle case con oscillazione di oggetti appesi vibrazioni simili al passaggio di autocarri leggeri.
4	Mediocre. Oscillazione di oggetti appesi, movimento di porte e finestre, tintinnio di vetri, vibrazione di vasellami.
5	Forte. Spostamento o rovesciamento di piccoli oggetti instabili, movimento di imposte e quadri, sveglia di persone dormienti, fermata, avviamento, cambiamento del passo di orologi a pendolo
6	Molto forte Rottura di vetri, piatti, vetrerie, caduta dagli scaffali di libri ed oggetti, spostamento di mobili, barcollare di persone in moto screpolature di intonaci deboli Sisma distruttivo su area > 20 Km
7	Fortissima. Tremolio di oggetti sospesi, difficile stare in piedi, rotture di mobili. Danni alle murature, rotture di comignoli deboli situati sui tetti. Caduta di intonaci, mattoni, pietre, tegole, cornicioni. Formazione di onde sugli specchi d'acqua. Piccoli smottamenti e scavarnamenti in depositi di sabbia e ghiaia. Forte suono di campane. Risentito dai guidatori di automezzi.
8	Rovinoso. Danni a murature, crolli parziali. Caduta di stucchi e di alcune pareti in muratura. Rotazione e caduta di camini, monumenti, torri, serbatoi elevati. Risentito nella guida di automezzi, rottura di rami di alberi, variazioni di portata o temperatura di sorgenti o pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi.
9	Disastrosa. Panico generale, distruzione di murature, gravi danni ai serbatoi, rottura di tubazioni sotterranee, rilevanti crepacci nel terreno
10	Distruttrice. Distruzione di gran parte delle murature e delle strutture in legname, con le relative fondazioni. Distruzione di alcune robuste strutture in legname e di ponti, gravi danni a dighe, briglie, argini, grandi frane. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni piane. Rotaie debolmente deviate.
11	Catastrofica. Rotaie fortemente deviate, tubazioni sotterranee completamente fuori servizio.
12	Distruzione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Linee di riferimento deformate, oggetti lanciati in aria.

Scala Richter	
0	Sisma molto lieve.
2,53	Scossa avvertita solo nelle immediate vicinanze.
4-5	Può causare danni localmente.
5	L'energia sprigionata è pari a quella della bomba atomica lanciata su Hiroshima nel 1945.
6	Sisma distruttivo in un'area ristretta 10 Km di raggio.
7	Sisma distruttivo in un'area di oltre 30 Km di raggio.
7-8	Grande terremoto distruttivo magnitudo del terremoto di S. Francisco del 1906.
8,4	Vicino al massimo noto energia sprigionata dalle scosse 2 x 1025 ergs.
8,6	Massimo valore di magnitudo noto, osservato tra il 1900 e il 1950, l'energia prodotta dal sisma è tre milioni di volte superiore a quella della prima bomba atomica lanciata su Hiroshima nel 1945.

▼ 1.2. I metodi di calcolo

Nel tempo si hanno avute varie teorie per il calcolo delle strutture in cemento armato tutte con la stessa finalità e cioè di assicurare idonei margini di sicurezza alle strutture, durabilità nel tempo, economicità e di incolumità delle persone (salvaguardia della vita). La misura della sicurezza di una struttura deve essere effettuata considerando di tutte le possibili condizioni di carico in cui la struttura stessa può trovarsi nel corso della sua vita utile ed analizzando i suoi comportamenti nei loro confronti; per queste valutazioni esistono diversi procedimenti di calcolo.

1.2.1. Il comportamento delle sezioni in cemento armato

Ogni elemento strutturale soggetto a una qualsiasi sollecitazione incrementata fino alla rottura dell'elemento stesso, viene sottoposto a tensioni di compressione e di trazione.

Si consideri una trave in c.a. semplicemente appoggiata agli estremi e soggetta a due carichi concentrati simmetrici P , con intensità gradualmente crescente fino a rottura; il suo comportamento fino a rottura è rappresentato. Nel diagramma $P-f$ si riporta il suo comportamento al variare del carico (f è la freccia in mezzzeria); si evidenziano tre stadi:

- *stadio 1*: calcestruzzo e acciaio sono in fase elastica e la sezione è interamente reagente; quest'ultima è costituita dall'intera sezione di calcestruzzo, che resiste alle tensioni di compressione, e dall'armatura di acciaio, che resiste alle tensioni di trazione, trasformata in calcestruzzo tramite il coefficiente di omogeneizzazione $n = 15$. Le sollecitazioni (analisi elastico-lineare) e le deformazioni con il metodo delle tensioni ammissibili vengono calcolate in questo stadio; sostanzialmente le deformazioni per gli stati limite di esercizio si calcolano in questo stadio;
- *stadio 2*: incrementando i carichi il calcestruzzo non è più in grado di assorbire le tensioni di trazione, salvo una piccola parte che non ha ancora raggiunto il limite di rottura; la trave inizia a fessurarsi nella parte inferiore, con fessure di apertura maggiore in basso e che tendono a chiudersi verso l'alto. Le armature metalliche assorbono ora quasi integralmente le tensioni di trazione e il comportamento del calcestruzzo compresso si considera ancora in campo ela-

stico. Il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni viene effettuato come se si fosse ancora nello stadio 1, mentre per le tensioni si fa riferimento allo stadio 2 non considerando il calcestruzzo in zona tesa (sezione parzializzata). Con il metodo delle tensioni ammissibili il calcolo delle tensioni viene effettuato per le verifiche di resistenza nello stadio 2 e per la limitazione delle tensioni in esercizio negli stati limite di esercizio;

- *stadio 3*: incrementando ancora i carichi aumentano sia le fessurazioni, sia le deformazioni; le barre di acciaio si allungano oltre il limite di snervamento e si giunge alla rottura della trave per schiacciamento del calcestruzzo quasi contemporaneamente al cedimento dell'acciaio. Le tensioni nel calcestruzzo presentano un andamento non lineare, mentre nell'acciaio hanno un andamento lineare fino allo snervamento.

