

Gianni Michele De Gaetanis

Verifiche e dimensionamento di elementi strutturali



**SOLLECITAZIONE ASSIALE, FLESSIONE
E PRESSO/TENSO FLESSIONE**

CD-ROM INCLUSO

D.M. 14 GENNAIO 2008
CIRC. MIN. 2 FEBBRAIO 2009, N. 617
SPETTRI DI RISPOSTA

GRAFILL

Prefazione	p.	11
Avvertenze e quadro legislativo	“	12
Convenzioni terminologiche	“	12
SIMBOLI UTILIZZATI	“	13
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	“	25
Materiali.....	“	27
Calcestruzzo.....	“	27
Generalità.....	“	27
Titolo.....	“	27
SLU.....	“	27
Legame costitutivo parabola-rettangolo.....	“	28
Legame costitutivo triangolo-rettangolo.....	“	29
Legame costitutivo rettangolo (stress-block).....	“	29
Parametri di calcolo.....	“	30
Coefficienti di sicurezza.....	“	31
Altri coefficienti.....	“	31
SLE/SLS.....	“	32
Parametri di calcolo.....	“	32
Coefficienti di sicurezza.....	“	33
Altri coefficienti.....	“	33
Acciaio.....	“	33
Generalità.....	“	33
SLU.....	“	34
Legame costitutivo bilineare finito con incrudimento....	“	34
Legame costitutivo elastico perfettamente plastico indefinito.....	“	35
Parametri di calcolo.....	“	36
Coefficienti di sicurezza.....	“	37
SLE/SLS.....	“	37
Coefficienti di sicurezza.....	“	37
Riferimenti normativi (D.M. 14 gennaio 2008).....	“	38
ELEMENTI DI STATICA DEL CALCESTRUZZO ARMATO	“	39
Principi generali.....	“	41
Introduzione ed ipotesi di base.....	“	41
Approccio e formulazione generale per comportamento lineare dei materiali.....	“	41
Studio delle componenti normali.....	“	42
Studio delle componenti flettenti.....	“	43
Sistema risolutivo.....	“	43
Studio riferito al calcestruzzo con sezione parzializzata...	“	44
Flessione.....	“	44
Presso/tenso flessione.....	“	44
Studio riferito al calcestruzzo con sezione tutta reagente	“	45

Flessione.....	“	45
Presso/tenso flessione.....	“	46
Approccio e formulazione generale per comportamento non lineare dei materiali.....	“	47
Snervamento dell'acciaio.....	“	47
Studio delle componenti normali.....	“	47
Studio delle componenti flettenti.....	“	49
Sistema risolutivo.....	“	50
Flessione.....	“	50
Presso/tenso flessione.....	“	51
Materiali in condizioni ultime.....	“	51
Acciaio in condizioni ultime.....	“	51
Studio dell'equilibrio con calcestruzzo in campo elasto-plastico.....	“	51
Studio dell'equilibrio con calcestruzzo in campo plastico.....	“	53
Calcestruzzo in condizioni ultime.....	“	56
Studio dell'equilibrio con acciaio in campo plastico.....	“	56
Studio dell'equilibrio con acciaio in campo elastico.....	“	58
Calcestruzzo e acciaio teso in condizioni ultime.....	“	60
Coefficienti di omogeneizzazione.....	“	60
CENNI SULLE APPLICAZIONI NUMERICHE.....	“	63
Introduzione.....	“	65
Concetto di errore.....	“	65
Errore vero percentuale.....	“	65
Errore relativo percentuale.....	“	65
Cifre significative esatte e errore relativo percentuale massimo.....	“	66
Zeri di una equazione.....	“	66
Metodo della bisezione.....	“	66
Metodo di Newton-Raphson.....	“	67
Interpolazione lineare.....	“	68
ESEMPI DI CALCOLO E VERIFICA.....	“	71
Esempi applicativi allo SLU.....	“	73
Sollecitazione assiale centrata.....	“	73
Esempio 1. Predimensionamento di una sezione rettangolare.....	“	74
Esempio 2. Progetto a trazione di una sezione rettangolare.....	“	75
Esempio 3. Progetto a compressione di una sezione quadrata.....	“	76
Esempio 4. Progetto a compressione di una sezione quadrata.....	“	80
Esempio 5. Progetto a compressione di una sezione a “L”.....	“	82

Esempio 6.	Progetto a compressione di una sezione circolare.....	“ 88
Esempio 7.	Progetto a compressione di una sezione circolare.....	“ 90
Esempio 8.	Verifica di una sezione rettangolare.....	“ 93
Esempio 9.	Confronto SLU-TA di una sezione rettangolare.....	“ 94
Esempio 10.	Progetto e verifica in zona sismica di una sezione rettangolare.....	“ 95
Esempio 11.	Progetto in zona sismica di una sezione quadrata.....	“ 99
Esempio 12.	Progetto e verifica di una sezione rettangolare tramite i grafici a “n” variabili in piano.....	“ 102
Sollecitazione di flessione semplice.....		“ 108
Esempio 13.	Predimensionamento di una sezione rettangolare.....	“ 110
Esempio 14.	Predimensionamento di una sezione rettangolare.....	“ 112
Esempio 15.	Progetto di una sezione rettangolare...	“ 115
Esempio 16.	Progetto di una sezione rettangolare...	“ 119
Esempio 17.	Verifica di una sezione rettangolare.....	“ 124
Esempio 18.	Confronto SLU-TA di una sezione quadrata.....	“ 128
Esempio 19.	Progetto di una sezione rettangolare a doppio registro.....	“ 133
Esempio 20.	Progetto di una sezione a “T” rovescia a doppio registro.....	“ 138
Esempio 21.	Progetto di una sezione rettangolare e confronto con il legame Stress-Block.....	“ 143
Esempio 22.	Progetto di una sezione a “T”.....	“ 152
Esempio 23.	Progetto di una sezione quadrata cava.....	“ 158
Esempio 24.	Progetto di una sezione rettangolare a flessione deviata.....	“ 166
Esempio 25.	Verifica di una sezione rettangolare a flessione deviata.....	“ 174
Esempio 26.	Progetto e verifica in zona sismica di una sezione rettangolare.....	“ 177
Esempio 27.	Progetto in zona sismica di una sezione rettangolare.....	“ 183
Esempio 28.	Progetto di una sezione rettangolare con i grafici a “n” variabili.....	“ 185
Esempio 29.	Verifica di una sezione rettangolare con i grafici a “n” variabili.....	“ 188
Sollecitazione di presso/tenso flessione.....		“ 191
Esempio 30.	Predimensionamento di una sezione rettangolare.....	“ 192

Esempio 31.	Predimensionamento di una sezione rettangolare.....	“ 197
Esempio 32.	Progetto di una sezione quadrata.....	“ 201
Esempio 33.	Progetto di una sezione rettangolare...	“ 206
Esempio 34.	Verifica di una sezione rettangolare.....	“ 212
Esempio 35.	Confronto SLU-TA di una sezione rettangolare.....	“ 214
Esempio 36.	Progetto di una sezione rettangolare...	“ 223
Esempio 37.	Progetto di una sezione rettangolare a tenso-flessione.....	“ 228
Esempio 38.	Progetto di una sezione rettangolare a doppio registro.....	“ 233
Esempio 39.	Progetto di una sezione a “U” a doppio registro.....	“ 238
Esempio 40.	Progetto di una sezione rettangolare e confronto con il legame Stress-Block.....	“ 246
Esempio 41.	Progetto di una sezione a “T”.....	“ 253
Esempio 42.	Progetto di una sezione rettangolare a presso-flessione deviata.....	“ 260
Esempio 43.	Verifica di una sezione quadrata a flessione deviata.....	“ 270
Esempio 44.	Progetto e verifica in zona sismica di una sezione rettangolare.....	“ 273
Esempio 45.	Progetto in zona sismica di una sezione rettangolare.....	“ 279
TABELLE E GRAFICI.....		“ 287
	Predimensionamento a compressione semplice.....	“ 289
Tabella 1.	Compressione semplice ($A_s/A_c = 0.30\%$)....	“ 289
Tabella 2.	Compressione semplice ($A_s/A_c = 1.00\%$)....	“ 289
Tabella 3.	Compressione semplice ($A_s/A_c = 2.00\%$)....	“ 290
Tabella 4.	Compressione semplice ($A_s/A_c = 3.00\%$)....	“ 290
Tabella 5.	Compressione semplice ($A_s/A_c = 4.00\%$)....	“ 291
	Flessione semplice retta per sezioni rettangolari (singolo registro).....	“ 291
Tabella 6.	Prospetto $\delta - H$	“ 292
Tabella 7.	Tabella q-m ($\delta = 0.02$).....	“ 293
Tabella 8.	Tabella q-m ($\delta = 0.05$).....	“ 294
Tabella 9.	Tabella q-m ($\delta = 0.10$).....	“ 295
	Flessione semplice retta per sezioni rettangolari (doppio registro).....	“ 296
Tabella 10.	Prospetto per la determinazione di f ($\varphi = 0.10$).....	“ 296
Tabella 11.	Prospetto per la determinazione di f ($\varphi = 0.20$).....	“ 297
Tabella 12.	Tabella q-m ($\delta = 0.02$; $\varphi = 0.10$).....	“ 298
Tabella 13.	Tabella q-m ($\delta = 0.05$; $\varphi = 0.10$).....	“ 299

Tabella 14.	Tabella q-m ($\delta = 0.10$; $\varphi = 0.10$).....	“	300
Tabella 15.	Tabella q-m ($\delta = 0.02$; $\varphi = 0.20$).....	“	301
Tabella 16.	Tabella q-m ($\delta = 0.05$; $\varphi = 0.20$).....	“	302
Tabella 17.	Tabella q-m ($\delta = 0.10$; $\varphi = 0.20$).....	“	303
Presso/tenso flessione retta per sezioni rettangolari			
	(singolo registro).....	“	304
Grafico 1.	Diagramma n-m ($\delta = 0.02$; $u = 0.00$ – Singolo registro).....	“	304
Grafico 2.	Diagramma n-m ($\delta = 0.02$; $u = 0.25$ – Singolo registro).....	“	305
Grafico 3.	Diagramma n-m ($\delta = 0.02$; $u = 0.50$ – Singolo registro).....	“	306
Grafico 4.	Diagramma n-m ($\delta = 0.02$; $u = 0.75$ – Singolo registro).....	“	307
Grafico 5.	Diagramma n-m ($\delta = 0.02$; $u = 1.00$ – Singolo registro).....	“	308
Grafico 6.	Diagramma n-m ($\delta = 0.05$; $u = 0.00$ – Singolo registro).....	“	309
Grafico 7.	Diagramma n-m ($\delta = 0.05$; $u = 0.25$ – Singolo registro).....	“	310
Grafico 8.	Diagramma n-m ($\delta = 0.05$; $u = 0.50$ – Singolo registro).....	“	311
Grafico 9.	Diagramma n-m ($\delta = 0.05$; $u = 0.75$ – Singolo registro).....	“	312
Grafico 10.	Diagramma n-m ($\delta = 0.05$; $u = 1.00$ – Singolo registro).....	“	313
Grafico 11.	Diagramma n-m ($\delta = 0.10$; $u = 0.00$ – Singolo registro).....	“	314
Grafico 12.	Diagramma n-m ($\delta = 0.10$; $u = 0.25$ – Singolo registro).....	“	315
Grafico 13.	Diagramma n-m ($\delta = 0.10$; $u = 0.50$ – Singolo registro).....	“	316
Grafico 14.	Diagramma n-m ($\delta = 0.10$; $u = 0.75$ – Singolo registro).....	“	317
Grafico 15.	Diagramma n-m ($\delta = 0.10$; $u = 1.00$ – Singolo registro).....	“	318
Presso/tenso flessione retta per sezioni rettangolari			
	(doppio registro).....	“	319
Grafico 16.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.02$; $u = 0.00$ – doppio registro).....	“	319
Grafico 17.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.02$; $u = 0.25$ – doppio registro).....	“	320
Grafico 18.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.02$; $u = 0.50$ – doppio registro).....	“	321
Grafico 19.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.02$; $u = 0.75$ – doppio registro).....	“	322

Grafico 20.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.02$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 323
Grafico 21.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.05$; u = 0.00 – doppio registro).....	“ 324
Grafico 22.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.05$; u = 0.25 – doppio registro).....	“ 325
Grafico 23.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.05$; u = 0.50 – doppio registro).....	“ 326
Grafico 24.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.05$; u = 0.75 – doppio registro).....	“ 327
Grafico 25.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.05$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 328
Grafico 26.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.10$; u = 0.00 – doppio registro).....	“ 329
Grafico 27.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.10$; u = 0.25 – doppio registro).....	“ 330
Grafico 28.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.10$; u = 0.50 – doppio registro).....	“ 331
Grafico 29.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.10$; u = 0.75 – doppio registro).....	“ 332
Grafico 30.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.10$; $\delta = 0.10$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 333
Grafico 31.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.02$; u = 0.00 – doppio registro).....	“ 334
Grafico 32.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.02$; u = 0.25 – doppio registro).....	“ 335
Grafico 33.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.02$; u = 0.50 – doppio registro).....	“ 336
Grafico 34.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.02$; u = 0.75 – doppio registro).....	“ 337
Grafico 35.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.02$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 338
Grafico 36.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.05$; u = 0.00 – doppio registro).....	“ 339
Grafico 37.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.05$; u = 0.25 – doppio registro).....	“ 340
Grafico 38.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.05$; u = 0.50 – doppio registro).....	“ 341
Grafico 39.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.05$; u = 0.75 – doppio registro).....	“ 342
Grafico 40.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.05$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 343
Grafico 41.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.10$; u = 0.00 – doppio registro).....	“ 344
Grafico 42.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.10$; u = 0.25 – doppio registro).....	“ 345

Grafico 43.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.10$; u = 0.50 – doppio registro).....	“ 346
Grafico 44.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.10$; u = 0.75 – doppio registro).....	“ 347
Grafico 45.	Diagramma n-m ($\varphi = 0.20$; $\delta = 0.10$; u = 1.00 – doppio registro).....	“ 348
Calcolo di s e t a flessione semplice retta (singolo registro)..		“ 349
Tabella 18.	Tabella s-m ($\delta = 0.02$ - u = 0.00).....	“ 349
Tabella 19.	Tabella s-m ($\delta = 0.02$ - u = 0.25).....	“ 349
Tabella 20.	Tabella s-m ($\delta = 0.02$ - u = 0.50).....	“ 350
Tabella 21.	Tabella s-m ($\delta = 0.02$ - u = 0.75).....	“ 350
Tabella 22.	Tabella s-m ($\delta = 0.02$ - u = 1.00).....	“ 350
Tabella 23.	Tabella s-m ($\delta = 0.05$ - u = 0.00).....	“ 351
Tabella 24.	Tabella s-m ($\delta = 0.05$ - u = 0.25).....	“ 351
Tabella 25.	Tabella s-m ($\delta = 0.05$ - u = 0.50).....	“ 351
Tabella 26.	Tabella s-m ($\delta = 0.05$ - u = 0.75).....	“ 352
Tabella 27.	Tabella s-m ($\delta = 0.05$ - u = 1.00).....	“ 352
Tabella 28.	Tabella s-m ($\delta = 0.10$ - u = 0.00).....	“ 352
Tabella 29.	Tabella s-m ($\delta = 0.10$ - u = 0.25).....	“ 353
Tabella 30.	Tabella s-m ($\delta = 0.10$ - u = 0.50).....	“ 353
Tabella 31.	Tabella s-m ($\delta = 0.10$ - u = 0.75).....	“ 353
Tabella 32.	Tabella s-m ($\delta = 0.10$ - u = 1.00).....	“ 354
Grafici a “n” variabili in piano (singolo registro).....		“ 355
Grafico 46.	Grafico a “n” variabili in piano per compressione semplice.....	“ 355
Grafico 47.	Grafico a “n” variabili in piano per flessione semplice ($\delta = 0.02$).....	“ 356
Grafico 48.	Grafico a “n” variabili in piano per flessione semplice ($\delta = 0.05$).....	“ 357
Grafico 49.	Grafico a “n” variabili in piano per flessione semplice ($\delta = 0.10$).....	“ 358
Riferimenti normativi.....		“ 359
INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO.....		“ 361
Contenuti del CD-ROM.....		“ 363
Requisiti hardware e software.....		“ 363
Richiesta della password utente.....		“ 363
Installazione e registrazione del software.....		“ 363
Utilizzo del software.....		“ 364
LICENZA D’USO.....		“ 367
SCHEDA DI REGISTRAZIONE.....		“ 368

Prefazione

Il presente testo è una applicazione dei principi e della teoria della progettazione strutturale espressa nel “manuale di calcolo agli stati limite – stati limite all’italiana – calcestruzzo con armatura metallica - II edizione – De Gaetanis Gianni Michele” pubblicato nel mese di settembre 2008.

Ed il punto della questione è incentrato proprio sul concetto di “progettazione strutturale”.

Cosa vuol dire progettare? Progettare vuol dire *“immaginare, ideare, definire e utilizzare un metodo per attuare qualcosa”*. Nella traduzione latina del termine, forse più significativa della lingua italiana anche se con un taglio classico, progettare si traduce con il verbo *“cogito, as, avi, atum, are”*. Cogitare? *“Pensare, volgere nella mente, riflettere”*.

La progettazione strutturale, quindi, altro non è un’attività attraverso la quale il progettista immagina una soluzione tecnica e la attua utilizzando un metodo di calcolo standardizzato e di comprovata valenza tecnica.

Di tale attività, nel presente testo, si prende in esame solo quella relativa ad *un metodo di calcolo standardizzato e di comprovata valenza tecnica*.

A questo punto sorge un’altra domanda. Esiste nel nostro paese un disposto di legge dal quale si può trarre un tale metodo? In buona sostanza la risposta è affermativa anche se alcuni punti dei disposti tecnici lasciano perplessi e non sono del tutto esaustivi: in tal caso si deve ricorrere, con le dovute cautele, ai documenti CNR, agli eurocodici o ad altre normative di riconosciuta, a livello nazionale, valenza tecnica.

È possibile, quindi, dalla interpretazione della legge trarre un metodo, organizzato in una sequenza ordinata e prestabilita di operazioni e cicli di calcolo, attraverso il quale addivenire alla progettazione strutturale.

Tale metodo è unico? Nei risultati del calcolo sì! È unico pure per le impostazioni teoriche! Non sempre è unico nelle procedure e sequenze di calcolo e/o verifica.

Nel presente testo, quindi, si propone un metodo di calcolo basato su una consolidata ed univoca teoria tecnica e su una sequenza logica di procedure: ciò è vincolante per la teoria tecnica mentre non lo è per le procedure che il progettista può, a suo razionale piacimento, modificarne l’ordine ed il criterio ed introdurne uno più calzante al problema da risolvere o al suo personale stile di progettazione.

Si sottolinea, infine, che l’attenzione del presente testo è incentrata sulle questioni strutturali, ossia sul dimensionamento e/o verifica delle sezioni, senza entrare nel merito del calcolo delle sollecitazioni di progetto.

Giugno 2009

Avvertenze e quadro legislativo

Il presente testo è riferito alle norme tecniche per le costruzioni emanate con DM del 14 gennaio 2008 (NTC): in alcuni punti le norme rimandano a documenti tecnici di comprovata affidabilità costringendo il professionista a richiamare altri strumenti tecnici, interpretandoli e raccordandoli con il DM medesimo.

Ciò si traduce nel fatto che il progettista deve, necessariamente, avere una conoscenza degli stati limite a-priori.

Come premesso, la norma di riferimento è costituita dalle NTC che sanciscono definitivamente che *“È fatto obbligo di utilizzo del metodo agli stati limite ad eccezione che per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, per le quali è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili”* (NTC, punto 2.7).

Allo stato attuale è in corso di preparazione una circolare esplicativa (legislativa) per l'applicazione delle NTC: una prima bozza, versione non definitiva e senza valenza legale, è già in circolazione ma è necessario attendere la pubblicazione della versione definitiva sulla Gazzetta Ufficiale.

Per tale motivo, laddove le NTC non indicano chiaramente il criterio di calcolo, si è fatto riferimento alla normativa già presente e consolidata, soprattutto quella del CNR, anche se molto più restrittiva di altri disposti tecnici, ad esempio gli eurocodici.

Convenzioni terminologiche

Nel presente testo si è fatto uso di alcune frasi ed indicazioni ricorrenti che possono risultare diverse da altri testi o inusuali nel linguaggio tecnico.

In generale, le diverse frasi indicano:

registro: gruppo di tondini ordinati lungo una retta aventi funzione strutturale e risultanti dal calcolo;

doppio registro: gruppo di tondini, risultanti dal calcolo, disposti su due file o registri in zona tesa (indipendentemente dal valore di u);

singolo registro: gruppo di tondini, risultanti dal calcolo, disposti su una sola fila o registro in zona tesa (indipendentemente dal valore di u);

doppia armatura: gruppo di tondini, risultanti dal calcolo, sia in zona compressa che tesa (indipendentemente dal valore di u) disposti su un registro in trazione ed uno in compressione;

singola armatura: gruppo di tondini, risultanti dal calcolo, solo in zona tesa disposti su un registro.

Simboli utilizzati

α

α	<ul style="list-style-type: none">• Parametro di calcolo nelle verifiche a presso/tenso flessione deviata• Inclinazione delle staffe rispetto all'asse della trave
α_c	Coefficiente maggiorativo nel calcolo della resistenza di "taglio compressione"
α_{cc}	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
α_{EP}	Coefficiente riduttivo per le resistenze in funzione dello spessore dell'elemento strutturale

β

β	<ul style="list-style-type: none">• Parametro di calcolo• Coefficiente di snellezza
---------	--

χ

χ	Curvatura di una sezione
χ_f	Curvatura di una sezione associata al momento di fessurazione M_f
χ_{su}	Curvatura di una sezione associata al momento ultimo
χ_{sy}	Curvatura di una sezione associata al momento di snervamento M_{sy}

δ, Δ

δ	<ul style="list-style-type: none">• Rapporto fra il copriferro e l'altezza utile della sezione ($\delta = c/h$)• Freccia nella sezione critica
δ_G	Distanza baricentrico adimensionalizzata
δ_{max}	Freccia massima nella sezione critica
δ_x	Rapporto fra il copriferro e l'altezza utile della sezione in direzione x ($\delta_x = c/h_x$)
δ_y	Rapporto fra il copriferro e l'altezza utile della sezione in direzione y ($\delta_y = c/h_y$)
Δf	Errore associato alla stima di f
Δ_{sm}	Distanza media fra due fessure

ϵ

ϵ'_s	Deformazione dell'acciaio in zona compressa
---------------	---

ϵ_c	Deformazione del calcestruzzo
ϵ_{c2}	Deformazione in corrispondenza del punto di stato limite elastoplastico-perfettamente plastico del calcestruzzo nel legame costitutivo parabola-rettangolo
ϵ_{c3}	Deformazione in corrispondenza del punto di stato limite elastoplastico-perfettamente plastico del calcestruzzo nel legame costitutivo triangolo-rettangolo
ϵ_{c4}	Deformazione in corrispondenza del punto di stato limite iniziale plastico del calcestruzzo nel legame rettangolo (stress block)
ϵ_{cl}	Deformazione di compressione del calcestruzzo al lembo maggiormente compresso
ϵ_{ct}	Deformazione del calcestruzzo a trazione al lembo maggiormente teso (in corrispondenza della tensione di trazione $f_{ctk\ 5\%}$)
ϵ_{cu}	Deformazione del punto di stato limite ultimo del calcestruzzo
ϵ_{ck}	Cfr. ϵ_{c2} ($\epsilon_{ck} = \epsilon_{c2}$)
ϵ_s	Deformazione dell'acciaio
ϵ_{sm}	Deformazione media delle barre d'armatura
ϵ_{su}	Deformazione del punto di stato limite ultimo ($\epsilon_{su} = \epsilon_{ud}$)
ϵ_{sy}	Deformazione del punto di stato limite elastico dell'acciaio ($\epsilon_{sy} = \epsilon_{yd}$)
ϵ_{ud}	Deformazione del punto di stato limite ultimo dell'acciaio
ϵ_{uk}	Deformazione caratteristica ultima dell'acciaio
ϵ_{yd}	Deformazione del punto di stato limite elastico dell'acciaio
γ	
γ_c	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
η	
η	<ul style="list-style-type: none"> • Fattore nel calcolo della resistenza tangenziale caratteristica di aderenza • Fattore di calcolo • Deformazione, freccia (abbassamento)
η_a	Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado
$\eta_{A's}$	Fattore correttivo dell'armatura tesa
η_{As}	Fattore correttivo dell'armatura compressa
η_b	Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado
η_c	Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado

η_{IH}	Rapporto di snellezza limite
η_R	Fattore nel calcolo della resistenza tangenziale di aderenza
Φ	
φ	Rapporto fra la distanza del primo e secondo registro e l'altezza utile della sezione ($\varphi = f/h$)
$\varphi_{(r)}$	Rotazione reale in una sezione
λ	
λ	<ul style="list-style-type: none">• Snellezza di un elemento a sezione costante• Parametro di calcolo
λ_{lim}	Snellezza limite di un elemento a sezione costante
μ	
μ	Percentuale geometrica di armatura (rapporto A_s/Bh)
Θ	
θ	Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave
θ_i	Rotazione del nodo i-esimo di un elemento strutturale
ρ	
ρ	Percentuale geometrica di armatura in zona tesa
ρ_{comp}	Percentuale geometrica di armatura in zona compressa
ρ_l	Rapporto geometrico di armatura longitudinale
ρ_r	Rapporto geometrico di armatura in fessurazione
σ	
σ'_s	Tensione dell'acciaio in zona compressa
σ_c	Tensione di compressione
$\sigma_{c,amm}$	Tensione ammissibile del calcestruzzo
$\sigma_{c,CR}$	Massima tensione nel calcestruzzo per la combinazione rara
$\sigma_{c,QP}$	Massima tensione nel calcestruzzo per la combinazione quasi permanente
σ_{cl}	Tensione di compressione del calcestruzzo
σ_{cp}	Tensione media di compressione nella sezione considerata

σ_{ct}	Tensione di trazione del calcestruzzo
$\sigma_{f,amm}$	Tensione ammissibile dell'acciaio
σ_s	<ul style="list-style-type: none"> • Tensione dell'acciaio • Tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata
$\sigma_{s,CR}$	Massima tensione nell'acciaio per la combinazione rara
$\sigma_{s,QP}$	Massima tensione nell'acciaio per la combinazione quasi permanente
σ_{sr}	Tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione f_{ctm} nella fibra di calcestruzzo più sollecitata in sezione interamente reagente compresa nell'area efficace
σ_t	Tensione di trazione
τ	
$\tau_{c,amm}$	Tensione ammissibile a taglio
$\bar{\tau}_{c,amm}$	Massima tensione ammissibile a taglio
τ_{max}	Tensione massima dovuta alla sollecitazione di taglio T nel calcolo alle tensioni ammissibili
Ψ	
ψ	Parametro di calcolo a torsione con il metodo alle tensioni ammissibili
\emptyset	
\emptyset	Diametro
$\emptyset_{L,max}$	Diametro massimo dell'armatura longitudinale
$\emptyset_{L,min}$	Diametro minimo dell'armatura longitudinale
\emptyset_s	Diametro delle staffe
A	
$(A_s)_{zona\ tesa}$	Armatura longitudinale in zona tesa
$(A_s)_{zona\ compressa}$	Armatura longitudinale in zona compressa
$(A_s)_{TA}$	Area totale dell'armatura longitudinale risultante dal calcolo con il metodo delle tensioni ammissibili
$(A_s)_{totale}$	Area totale dell'armatura longitudinale
A	<ul style="list-style-type: none"> • Area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico • Area del poligono avente vertici nel baricentro dei tondini d'acciaio di una sezione

a	<ul style="list-style-type: none">• Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado• Parametro di calcolo a torsione con il metodo alle tensioni ammissibili
A_1	Area d'acciaio in zona compressa
A_2	Area d'acciaio del secondo registro (sezione a doppio registro): nel presente manuale $A_2 = A_3$
A_3	Area d'acciaio in zona tesa (sezione a doppio registro)
A_c	Area (geometrica) di calcestruzzo
$A_{c,eff}$	Area efficace di calcestruzzo
a_l	Parametro di calcolo a torsione
A_l	Area dell'armatura longitudinale (calcolo a torsione con il metodo delle tensioni ammissibili)
a_s	Parametro di calcolo a torsione
A_s	Area d'acciaio in zona tesa (sezioni a singolo registro)
A'_s	Area d'acciaio in zona compressa
A_{s1}	Area di un singolo tondino
A_{sf}	Area dell'armatura fittizia longitudinale di peso eguale alla spirale
A_{sl}	Armatura longitudinale
A_{sp}	Area dell'armatura utilizzata per la spirale
A_{st}	<ul style="list-style-type: none">• Area del tondino di una staffa (calcolo a torsione)• Area delle staffe
A_{sw}	Area dell'armatura trasversale per staffe
$(A_{gt})_k$	Allungamento caratteristico dell'acciaio

B

B	Base geometrica di una sezione
b	<ul style="list-style-type: none">• Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado• Dimensione di una nervatura• Dimensione della sezione• Parametro di calcolo a torsione con il metodo alle tensioni ammissibili
b'	Dimensione di una nervatura
B_{pp}	Dimensione dell'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico
b_{st}	Distanza fra i bracci più esterni delle staffe
b_t	Larghezza media della zona tesa
b_w	Larghezza minima di una sezione

C

C	Sigla per il titolo del calcestruzzo (seguita dalle resistenze f_{ck}/R_{ck})
---	--

c	<ul style="list-style-type: none"> • Coefficiente di calcolo di una equazione di II grado • Copriferro
CD "A"	Classe di duttilità "A" (oppure Capacità dissipativa "A")
CD "B"	Classe di duttilità "B" (oppure Capacità dissipativa "B")

D

D	<ul style="list-style-type: none"> • Diametro del nucleo confinato di un pilastro circolare • Diametro esterno di una circonferenza
d_G	Distanza baricentrica

E

$ E _{R\%}$	Errore relativo percentuale assoluto
$(EI)_{(r)}$	Rigidezza reale associata ad un elemento strutturale
$(EI)_I$	Rigidezza associata al primo stadio (sezione interamente reagente)
$(EI)_{II}$	Rigidezza associata al secondo stadio (sezione fessurata)
$(EI)_{III}$	Rigidezza associata al terzo stadio (sezione snervata)
E	Modulo elastico
e	Eccentricità
e_1	Eccentricità legata all'azione flettente del primo ordine
$E_{ass. \%}$	Errore assoluto percentuale
E_c	Modulo elastico a compressione del calcestruzzo (Cfr. E_{cm})
E_{cm}	Modulo elastico istantaneo del calcestruzzo (non applicabile ai calcestruzzi maturati a vapore)
E_{ct}	Modulo elastico a trazione del calcestruzzo
E_i	Modulo elastico dell'acciaio ramo incrudente
e_{max}	Eccentricità massima
e_{ni}	Eccentricità non intenzionale
$E_{R\%}$	Errore relativo percentuale
$E_{Rmax \%}$	Errore relativo percentuale massimo
E_s	Modulo elastico dell'acciaio ramo elastico
e_{tot}	Eccentricità totale
E_V	Errore vero di una grandezza

F

f	Distanza fra il primo e il secondo registro (sezioni a doppio registro)
f_{cd}	Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima
f_{bd}	Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

f_{bk}	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione
f_{cfm}	Resistenza media a trazione per flessione
f_{ck}	Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni su provini cilindrici
f_{cm}	Resistenza media a compressione del calcestruzzo a 28 giorni su provini cilindrici
f_{ctd}	Resistenza di calcolo a trazione (assiale)
$f_{ctk\ 5\%}$	Resistenza caratteristica a trazione corrispondente ad un frattile del 5 %
$f_{ctk\ 95\%}$	Resistenza caratteristica a trazione corrispondente ad un frattile del 95 %
f_{ctm}	Resistenza media a trazione semplice (assiale)
f_{tk}	Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio
f_{yd}	Resistenza di calcolo dell'acciaio
f_{yk}	Resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio

G

G	Baricentro di una sezione
G_k	Carichi permanenti (strutturale e/o non strutturale)

I

I	Momento d'inerzia
i	<ul style="list-style-type: none">• Raggio di inerzia della sezione di calcestruzzo non fessurato• Passo delle staffe
I_n	Momento d'inerzia rispetto l'asse neutro
I_p	Momento d'inerzia di un pilastro
I_t	Momento d'inerzia di una trave

H

h	Altezza utile di una sezione
H	<ul style="list-style-type: none">• Altezza geometrica di una sezione• Altezza di un elemento strutturale
H_{pp}	Dimensione dell'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico
h_x	Altezza utile di una sezione in direzione x
h_y	Altezza utile di una sezione in direzione y

K

k	<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto di sovraresistenza (acciaio) • Parametro di calcolo della resistenza a taglio di progetto
k_1	Fattore di calcolo della snellezza
k_2	Fattore di calcolo della snellezza
k_i	Fattore di calcolo della snellezza relativo all'estremo i -esimo di un elemento

L

l	Lunghezza (altezza) geometrica di un elemento
l_t	Lunghezza geometrica di una trave
l_p	Lunghezza (altezza) geometrica di un pilastro
l	Luce di una trave
L	<ul style="list-style-type: none"> • Spessore di una soletta • Lunghezza di un elemento strutturale
l_0	Lunghezza libera di inflessione
l_a	Lunghezza di aderenza
L_{\min}	Lato minore di una sezione
l_u	Lunghezza di un uncino (in asse alla barra longitudinale)

M

\bar{m}	Momento flettente agente adimensionalizzato riferito alla resistenza a trazione del calcestruzzo
M	<ul style="list-style-type: none"> • Momento • Momento flettente alle tensioni ammissibili
m	Momento flettente agente adimensionalizzato riferito alla resistenza a compressione del calcestruzzo
$M_{(f)}$	Momento associato alla forza unitaria nella sezione in esame
$M(z)_{(r)}$	Momento reale nella sezione z
M_{01}	Momento del primo ordine all'estremità di un pilastro (estremità 1)
M_{02}	Momento del primo ordine all'estremità di un pilastro (estremità 2)
$M_{A's}$	Momento resistente di progetto dovuto alla armatura A'_s (riferito al baricentro geometrico della sezione)
M_{A_s}	Momento resistente di progetto dovuto alla armatura A_s (riferito al baricentro geometrico della sezione)
M_{cc}	Momento resistente di progetto dovuto alla quotaparte in compressione di calcestruzzo (riferito al baricentro geometrico della sezione)

M_{ct}	Momento resistente di progetto dovuto alla quotaparte in trazione di calcestruzzo (riferito al baricentro geometrico della sezione)
M_{Ed}	Momento di progetto dell'azione
$M_{Ed,I}$	Momento agente di progetto del primo ordine
$M_{Ed,II}$	Momento agente di progetto del secondo ordine
$M_{Ed,tot}$	Momento agente di progetto totale (del primo e del secondo ordine)
M_f	Momento di fessurazione
M_p	Momento agente all'estremo di un pilastro
$M_{Rd,acciaio}$	Momento di reazione del solo acciaio di una sezione
$M_{Rd,calc}$	Momento di reazione del solo calcestruzzo di una sezione
M_{sy}	Momento di snervamento
M_{sy}	Momento flettente di snervamento
M_t	Momento torcente nel calcolo alle tensioni ammissibili
M_t	Momento agente all'estremo di una trave
M_u	Momento ultimo
m_x	Momento flettente agente adimensionalizzato riferito al momento $M_{x,Ed}$
$M_{x,Ed}$	Momento di progetto agente con asse momento X
$M_{x,Rd}$	Momento resistente con asse momento X
m_y	Momento flettente agente adimensionalizzato riferito al momento $M_{y,Ed}$
$M_{y,Ed}$	Momento di progetto agente con asse momento Y
$M_{y,Rd}$	Momento resistente con asse momento Y
N	
\bar{n}	Sollecitazione assiale adimensionalizzata riferita alla resistenza a trazione del calcestruzzo
n	<ul style="list-style-type: none">• Coefficiente di omogeneizzazione (valore convenzionale del rapporto $E_s/E_c = 15$)• Sollecitazione normale adimensionalizzata riferita alla resistenza a compressione del calcestruzzo• Cifre significative esatte in una stima
N	Sollecitazione normale alle tensioni ammissibili
N_{ad}	Sollecitazione trasmissibile per aderenza
n_{ct}	Coefficiente di omogeneizzazione (valore convenzionale del rapporto $E_{ct}/E_c = 0.50 \div 0.70$)
N_{Ed}	Sforzo normale di progetto di un'azione
N_{Rd}	Sforzo normale di reazione di una sezione
$N_{Rd,acciaio}$	Sforzo normale di reazione del solo acciaio di una sezione

$N_{Rd,calc}$	Sforzo normale di reazione del solo calcestruzzo di una sezione
n_{st}	Numero di bracci della singola staffa orizzontale
n_t	<ul style="list-style-type: none"> • Rapporto fra il modulo elastico dell'acciaio e quello a trazione del calcestruzzo (valore convenzionale del rapporto $E_s/E_{ct} = 25$) • Numero di tondini d'acciaio di un'armatura
n_x	Sforzo normale agente adimensionalizzato riferito alla sollecitazione N_{Ed} in direzione x
n_y	Sforzo normale agente adimensionalizzato riferito alla sollecitazione N_{Ed} in direzione y

P

p	<ul style="list-style-type: none"> • Passo della spirale • Perimetro del poligono avente vertici nel baricentro dei tondini d'acciaio di una sezione
P_d	Carico verticale concentrato di progetto

Q

q	<ul style="list-style-type: none"> • Percentuale meccanica di armatura • Carico uniformemente distribuito (per unità di lunghezza)
q_d	Carico verticale uniformemente distribuito
Q_k	Carico variabile
q_x	Percentuale meccanica di armatura riferita a m_x
q_y	Percentuale meccanica di armatura riferita a m_y

R

R	Raggio di una circonferenza
r	Raggio di una barra longitudinale
r'	Parametro di calcolo alle tensioni ammissibili
$R_{A's}$	Resistenza di progetto dell'armatura A'_s
R_{As}	Resistenza di progetto dell'armatura A_s
R_{cc}	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo
R_{ck}	Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni su provini cubici
R_{ct}	Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo
r_u	Raggio di curvatura di un uncino (in asse alla barra longitudinale)

S

s	<ul style="list-style-type: none">• Distanza fra le barre longitudinali• Parametro di calcolo per w_k• Passo fra le staffe• Rapporto fra la distanza dell'asse neutro dal lembo maggiormente compresso di una sezione e l'altezza utile della sezione stessa ($s = x_c/h$)
s_{lim}	Valore limite del parametro s
S_n	Momento statico rispetto l'asse neutro
S_x	Passo fra le staffe nella verifica in direzione x
S_y	Passo fra le staffe nella verifica in direzione y

T

t	<ul style="list-style-type: none">• Rapporto fra la distanza dell'asse neutro dal lembo maggiormente teso di una sezione e l'altezza utile della sezione stessa ($t = x_t/h$)• Spessore della sezione anulare fittizia
T	Sollecitazione di taglio nel calcolo alle tensioni ammissibili
t'	Parametro di calcolo alle tensioni ammissibili
T_{Ed}	Torsione agente di progetto
T_{Rcd}	Torsione resistente di progetto del calcestruzzo
T_{Rd}	Torsione resistente di progetto
T_{Rld}	Torsione resistente di progetto dell'armatura longitudinale
T_{Rsd}	Torsione resistente di progetto dell'armatura trasversale

U

u	<ul style="list-style-type: none">• Perimetro geometrico esterno di una sezione• Rapporto fra l'armatura in zona tesa e quella in zona compressa nelle sezioni a singolo registro ($u = A'_s/A_s$)• Perimetro efficace (verifica a punzonamento)• Rapporto fra l'armatura in zona tesa e quella in zona compressa nelle sezioni a doppio registro ($u = A_1/A_3$)
u_m	Perimetro medio del nucleo resistente
u_x	Rapporto fra l'armatura in zona tesa e quella in zona compressa nelle sezioni a singolo registro riferito alla direzione x (verifica a pressoflessione deviata)
u_y	Rapporto fra l'armatura in zona tesa e quella in zona compressa nelle sezioni a singolo registro riferito alla direzione y (verifica a pressoflessione deviata)

V

V_{Ed}	Taglio agente di progetto
----------	---------------------------

V_{min}	Parametro di calcolo dei fattori/addendi per la verifica a taglio
V_{Rcd}	Taglio resistente di progetto a "taglio compressione"
V_{Rd}	Taglio resistente di progetto
V_{Rdmin}	Valore resistente minimo a taglio del calcestruzzo d'anima
V_{Rp}	Forza al punzonamento
V_{Rsd}	Taglio resistente di progetto a "taglio trazione"

W

W_k	Valore caratteristico di apertura delle fessure
W_{kd}	Valore caratteristico di progetto di apertura delle fessure
W_{km}	Valore caratteristico medio di apertura delle fessure

X

x_c	Distanza dell'asse neutro dal lembo maggiormente compresso di calcestruzzo
x_d	Estremo destro di un intervallo
X_G	Ascissa baricentrica
x_i	Valore stimato di una grandezza all'iterazione i-esima
X_i	Valore stimato di una grandezza all'iterazione i-esima
X_{i-1}	Valore stimato di una grandezza all'iterazione i-esima - 1
x_{i-1}	Valore stimato di una grandezza all'iterazione i-esima - 1
x_s	Estremo sinistro di un intervallo
x_t	Distanza dell'asse neutro dal lembo maggiormente teso di calcestruzzo
X_V	Valore vero di una grandezza

Y

Y_G	Ordinata baricentrica
y_i	Valore stimato di una funzione

Z

z	Parametro di calcolo nel taglio alle tensioni ammissibili
-----	---

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Materiali I materiali considerati nella trattazione corrente sono, fondamentalmente, due: calcestruzzo e acciaio.

Calcestruzzo Si farà riferimento al calcestruzzo armato normale. Nell'ambito di tali strutture si identificano [1]:

Generalità

- strutture di calcestruzzo non armato;
- strutture di calcestruzzo a bassa percentuale di armatura;
- strutture di calcestruzzo semplicemente armate.

Titolo I calcestruzzo armato normale è identificato e/o titolato facendo riferimento alla classe di resistenza [1].

L'identificativo, o titolo o classe di resistenza, è costituito dalla lettera "C" seguita dalle resistenze uniassiali misurate mediante prove su campioni cilindrici/cubici [1]. La "sigla tipo" è di seguito riportata:

$$C f_{ck} / R_{ck}$$

in cui, nella indicazione reale del calcestruzzo, al posto di f_{ck} ed R_{ck} sono riportati i valori numerici delle resistenze. La norma fornisce i valori delle resistenze in MPa [1].

Le classi di resistenza, previste dalla norma sono di seguito indicate [1]: C8/10; C12/15; C16/20; C20/25; C25/30; C28/35; C 32/40, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95 e C90/105 (valori delle resistenze indicate nel titolo in N/mm²) [1].

I vari tipi di conglomerato, in relazione alla tipologia di armatura, devono presentare caratteristiche specifiche oppure essere utilizzati in casi particolari e precisamente [1]:

- C8/10, per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura;
- C16/20, per strutture semplicemente armate.
- per classi di resistenza superiori a C45/55, tutte le proprietà devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori [1];
- per classi di resistenza superiori a C70/85, il calcestruzzo può essere utilizzato previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici [2].

SLU Agli SLU, la progettazione a sforzo normale e/o flessione è condotta sotto le seguenti ipotesi di base (ipotesi formulate relativamente al solo calcestruzzo) [3]:

- elementi monodimensionali;
- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;

Le tensioni nel calcestruzzo si calcolano a partire dalle deformazioni del calcestruzzo stesso [3]. I legami costitutivi utilizzabili sono di tre tipi [4]:

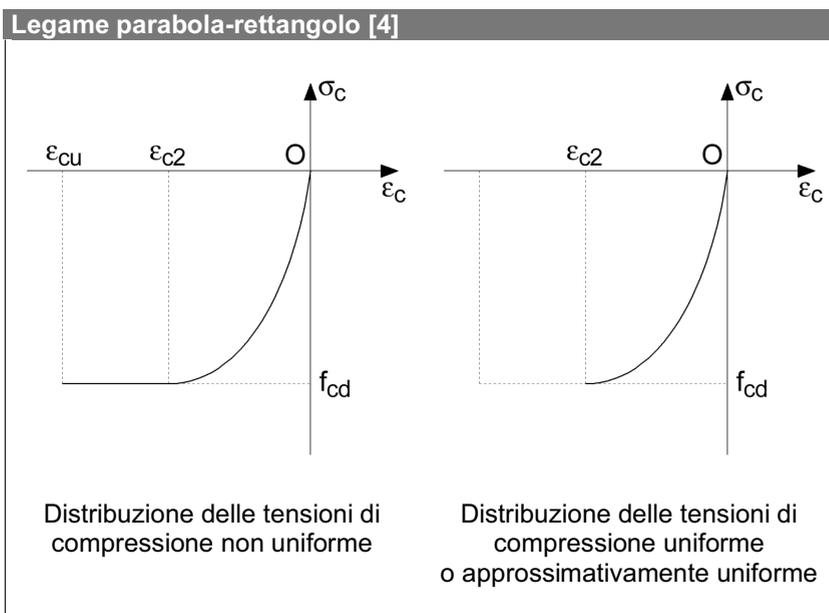
- parabola rettangolo;
- triangolo rettangolo;
- rettangolo o stress-block.

Legame costitutivo parabola-rettangolo

Il legame parabola-rettangolo è definito da un arco di parabola passante per l'origine ed avente asse parallelo a quello delle tensioni e da un segmento parallelo all'asse delle deformazioni e tangente alla parabola nel vertice.

Per il diagramma parabola rettangolo è necessario esplicitare che:

- per le sezioni per le quali la distribuzione delle tensioni di compressione sia non uniforme (o approssimativamente non uniforme) si deve utilizzare il legame costitutivo parabola-rettangolo completo;
- per le sezioni per le quali la distribuzione delle tensioni di compressione sia uniforme o approssimativamente uniforme si deve utilizzare del legame solo il ramo elasto-plastico tralasciando quello perfettamente plastico.



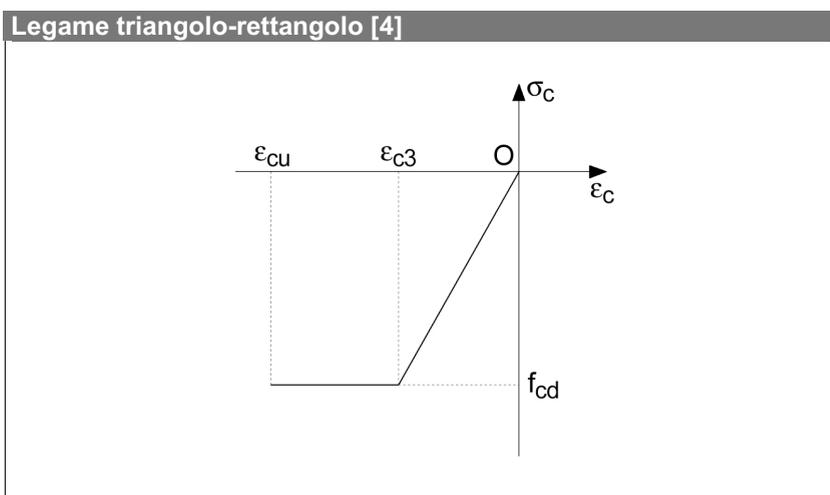
I valori di ϵ_{cu} e ϵ_{c2} , caratteristici dei punti di stato limite del legame, sono riportati nel prospetto seguente e sono definiti o calcolati in relazione alla classe di resistenza del calcestruzzo [4]:

Valori delle deformazioni [4]		
Classe del calcestruzzo	ϵ_{c2} (%)	ϵ_{cu} (%)
$\leq C50/60$	- 0.20	- 0.35
$> C50/60$	$-0.20 - 0.0085(f_{ck} - 50)^{0.53}$	$-0.26 - 3.5 \left(\frac{90 - f_{ck}}{100} \right)^4$

Legame costitutivo triangolo-rettangolo

Il legame triangolo-rettangolo è definito da una spezzata passante per l'origine e da un segmento parallelo all'asse delle deformazioni.

Il legame è di seguito riportato [4]:



I valori di ϵ_{cu} e ϵ_{c3} sono riportati nel prospetto seguente e sono definiti o calcolati in relazione alla classe di resistenza del calcestruzzo. In dettaglio [4]:

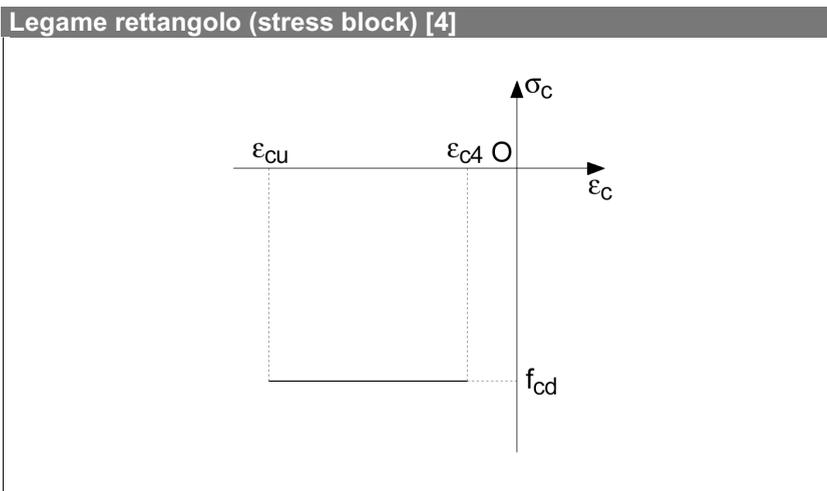
Valori delle deformazioni [4]		
Classe del calcestruzzo	ϵ_{c3} (%)	ϵ_{cu} (%)
$\leq C50/60$	- 0.175	- 0.35
$> C50/60$	$-0.175 - 0.055 \frac{f_{ck} - 50}{40}$	$-0.26 - 3.5 \left(\frac{90 - f_{ck}}{100} \right)^4$

Legame costitutivo rettangolo (stress block)

Il legame rettangolo, o stress block, è costituito da un solo tratto a comportamento plastico.

Il legame, utilizzato solo in casi particolari, manca di una descrizione per un range di valori della deformazione.

In dettaglio [4]:



I valori di ϵ_{cu} e ϵ_{c4} sono riportati nel prospetto seguente e sono definiti o calcolati in relazione alla classe di resistenza del calcestruzzo. In dettaglio [4]:

Valori delle deformazioni [4]

Classe del calcestruzzo	ϵ_{c4} (%)	ϵ_{cu} (%)
$\leq C50/60$	- 0.07	- 0.35
$> C50/60$	$- 0.20 \cdot \epsilon_{cu}$	$- 0.26 - 3.5 \left(\frac{90 - f_{ck}}{100} \right)^4$

Parametri di calcolo

In modo del tutto generale, la resistenza di calcolo si ottiene dal rapporto fra la resistenza caratteristica e il relativo coefficiente parziale per la resistenza [5].

Le diverse resistenze di calcolo sono indicate nel prospetto seguente (calcolo delle grandezze in daN/cm^2): si noti che il legame costitutivo di riferimento è il parabola-rettangolo.

Parametri caratteristici agli SLU del calcestruzzo

Grandezza	Calcolo
Resistenza caratteristica a compressione [6]	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$
Resistenza media a compressione [6]	$f_{cm} = f_{ck} + 80$
Resistenza di calcolo a compressione [7]	$f_{cd} = \alpha_{EP} \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$
Resistenza media a trazione semplice (assiale) con calcestruzzo $\leq C50/60$ [8]	$f_{ctm} = 0.6463 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$

continua