

Riccardo Mariotti

ZONE SISMICHE PROGETTI E PRATICHE PER IL GENIO CIVILE

**PROCEDURE PER LA PRESENTAZIONE DI PROGETTI
E DOCUMENTI RELATIVI AD EDIFICI NUOVI ED ESISTENTI
IN CEMENTO ARMATO E MURATURA**

▪ Progetto e verifica sezioni in c.a. ▪ Materiali e durabilità delle opere ▪ Dimensionamento del copriferro ▪ Particolari costruttivi ▪ Edifici in muratura ▪ Recupero di edifici in c.a. e muratura

SECONDA EDIZIONE



SOFTWARE INCLUSO

MODULISTICA PER LA PRESENTAZIONE DELLE PRATICHE AGLI UFFICI DEL GENIO CIVILE



GRAFILL

Riccardo Mariotti

ZONE SISMICHE – PROGETTI E PRATICHE PER IL GENIO CIVILE

ISBN 13 978-88-8207-802-7

EAN 9 788882 078027

Manuali, 185

Seconda edizione, novembre 2015

Mariotti, Riccardo <1961->

Zone sismiche : progetti e pratiche per il genio civile
/Riccardo Mariotti. – 2. ed. – Palermo : Grafill, 2015.
(Manuali ; 185)

ISBN 978-88-8207-802-7

1. Edifici in cemento armato – Zone sismiche.

624.1762 CDD-22 SBN Pal0283457

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **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 novembre 2015

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** 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.

INDICE

| | | |
|--|----|----|
| PREFAZIONE | p. | 1 |
| 1. MATERIALI | " | 3 |
| 1.1. Calcestruzzo | " | 3 |
| 1.1.1. Calcestruzzo indurito | " | 4 |
| 1.1.2. Resistenze caratteristiche a compressione di calcolo | " | 5 |
| 1.1.3. Fattori che influenzano la resistenza del calcestruzzo | " | 5 |
| 1.2. Acciaio | " | 6 |
| 1.3. Controllo di accettazione calcestruzzo (cap. 11.2 e 11.3 del D.M. 14-01-2008) | " | 8 |
| 1.4. Controllo accettazione acciaio | " | 9 |
| 1.5. Materiali edifici in muratura | " | 10 |
| 1.5.1. Malte per murature | " | 10 |
| 1.5.2. Elementi resistenti in muratura | " | 12 |
| 1.6. Meccaniche delle murature | " | 14 |
| 1.6.1. Resistenza a compressione | " | 14 |
| 1.6.2. Resistenze di progetto | " | 18 |
| 1.7. Prove di accettazione per edifici in muratura | " | 19 |
| 1.7.1. Controlli di accettazione | " | 19 |
| 1.7.2. Prove di accettazione sulle malte secondo la bozza delle nuove N.T.C. 2015 | " | 20 |
| 2. ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO E COSTRUZIONI DI MURATURA | " | 21 |
| 2.1. Le travi | " | 21 |
| 2.2. Pilastri | " | 35 |
| 2.3. Nodi trave pilastro | " | 44 |
| 2.4. Pareti in cemento armato | " | 47 |
| 2.5. Tamponamenti e strutture secondarie | " | 50 |
| 2.5.1. Elementi secondari | " | 50 |
| 2.5.2. Verifica tamponamenti | " | 51 |
| 2.5.3. Effetti dei tamponamenti sul comportamento strutturale | " | 52 |
| 2.5.4. Armature travi di accoppiamento | " | 57 |
| 2.6. Le scale | " | 57 |
| 2.6.1. Scala con trave a ginocchio e gradini a sbalzo | " | 59 |

| | | | |
|-----------|---|----|-----|
| 2.6.2. | Scala a soletta rampante | p. | 60 |
| 2.7. | Solai | " | 60 |
| 2.7.1. | Solai a nervature parallele | " | 61 |
| 2.7.2. | Verifica di deformabilità | " | 63 |
| 2.7.3. | Solai a nervature incrociate | " | 65 |
| 2.7.4. | Verifica per carichi concentrati..... | " | 65 |
| 2.7.5. | Verifica carichi orizzontali distribuiti sui parapetti dei terrazzi..... | " | 67 |
| 2.8. | Le fondazioni | " | 68 |
| 2.8.1. | Modello geotecnico | " | 69 |
| 2.8.2. | Carico di rottura del terreno | " | 69 |
| 2.8.3. | Criteri generali di progetto | " | 72 |
| 2.8.4. | Le onde sismiche | " | 72 |
| 2.8.5. | Fenomeni di liquefazione | " | 75 |
| 2.8.6. | Amplificazione locale del suolo | " | 77 |
| 2.8.7. | Fondazioni superficiali | " | 77 |
| 2.9. | Fondazioni a plinto | " | 86 |
| 2.9.1. | Verifica al punzonamento di lastre soggette a carichi concentrati | " | 88 |
| 2.10. | Collegamenti orizzontali tra fondazioni | " | 90 |
| 2.11. | Fondazioni a trave rovescia | " | 91 |
| 2.12. | Platee..... | " | 95 |
| 2.13. | Cedimenti..... | " | 95 |
| 2.13.1. | Cedimenti assoluti e differenziali ammissibili | " | 98 |
| 2.14. | Cenni alle fondazioni indirette su pali..... | " | 99 |
| 2.14.1. | Ripartizione del carico in una palificata..... | " | 101 |
| 2.14.2. | Sintesi normativa fondazioni su pali punto §6.4.3 del D.M. 2008 | " | 102 |
| 2.15. | Costruzioni di muratura | " | 106 |
| 2.15.1. | Cordoli in cemento armato | " | 107 |
| 2.15.2. | Spessore dei muri e snellezza..... | " | 108 |
| 2.15.3. | Analisi strutturale | " | 108 |
| 2.15.4. | Resistenza a compressione | " | 109 |
| 2.15.5. | Resistenze di progetto..... | " | 112 |
| 2.15.6. | Verifiche agli stati limite ultimi..... | " | 113 |
| 2.15.7. | Verifiche agli stati limite di esercizio | " | 120 |
| 2.15.8. | Metodi di analisi | " | 121 |
| 3. | DURABILITÀ DELLE OPERE | | |
| | E SCELTA DEL COPRIFERRO MINIMO | " | 126 |
| 3.1. | Classi di esposizione del calcestruzzo..... | " | 128 |
| 3.2. | Classi di consistenza del calcestruzzo | " | 129 |
| 4. | DISTANZA TRA COSTRUZIONI CONTIGUE | " | 134 |

| | |
|---|--------|
| 5. TIPOLOGIE STRUTTURALI | |
| E RISOLUZIONE DELLO SCHEMA STATICO | p. 136 |
| 5.1. Carichi verticali e masse..... | " 137 |
| 5.1.1. Pesi propri dei materiali strutturali..... | " 137 |
| 5.1.2. Carichi permanenti non strutturali (G_2)..... | " 137 |
| 5.1.3. Elementi divisori interni (tramezzi) | " 137 |
| 5.1.4. Carichi variabili | " 138 |
| 5.1.5. Carico neve | " 139 |
| 5.1.6. Azione del vento..... | " 139 |
| 5.2. Combinazione delle azioni | " 144 |
| 5.3. Baricentro delle masse e delle rigidezze | " 146 |
| 5.4. Il fattore di struttura..... | " 150 |
| 5.5. Strutture a telaio..... | " 159 |
| 5.6. Strutture a pareti | " 161 |
| 5.7. Strutture miste telaio-pareti | " 163 |
| 5.8. Strutture deformabili torsionalmente..... | " 163 |
| 5.9. Strutture a pendolo inverso..... | " 163 |
| 5.10. Criteri di progetto | " 163 |
| 5.11. Regolarità delle strutture | " 165 |
| 5.12. Dimensionamento e verifica degli elementi strutturali | " 167 |
| 5.12.1. Cenni ai metodi di analisi..... | " 168 |
| 5.12.2. Altezza massima dei nuovi edifici..... | " 175 |
| | |
| 6. EDIFICI SEMPLICI IN MURATURA: | |
| VERIFICA SISMICA PER COSTRUZIONI IN ZONA 4..... | " 176 |
| 6.1. Analisi statica lineare secondo il D.M. 16-01-1996..... | " 177 |
| 6.2. Edifici semplici in muratura in zona sismica | " 178 |
| | |
| 7. PROCEDURE DI PRESENTAZIONE PRATICHE GENIO CIVILE | |
| E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI PROGETTO..... | " 184 |
| 7.1. Documentazione | " 184 |
| 7.2. Varianti sostanziali e non sostanziali al progetto | " 189 |
| 7.3. Opere di trascurabile importanza..... | " 190 |
| 7.4. Sistema informativo Genio Civile | |
| – Trasmissione telematica delle pratiche..... | " 191 |
| | |
| 8. ANALISI E VERIFICHE | |
| CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO | " 209 |
| 8.1. Relazione di accettabilità dei risultati – Esempio di calcolo | " 210 |
| 8.2. La trave continua (equazioni dei tre momenti) | " 221 |
| | |
| 9. COLLAUDO STATICO IN CORSO D'OPERA | " 225 |
| 9.1. Il collaudo statico | " 225 |
| 9.2. Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera | " 231 |

| | | |
|-----------------|--|--------|
| 9.2.1. | Controlli distruttivi | p. 231 |
| 9.3. | Prove di carico | " 235 |
| 9.3.1. | Le prove con carichi distribuiti | " 235 |
| 9.3.2. | Le prove con carichi concentrati | " 235 |
| 9.3.3. | Le prove di carico sui pali di fondazione | " 235 |
| | | |
| 10. | COSTRUZIONI ESISTENTI | |
| | IN MURATURA E CEMENTO ARMATO | " 237 |
| 10.1. | Criteri generali di progettazione | " 238 |
| 10.2. | Valutazione della sicurezza..... | " 240 |
| 10.3. | Classificazione degli interventi..... | " 242 |
| 10.3.1. | Intervento di adeguamento | " 243 |
| 10.3.2. | Intervento di miglioramento | " 244 |
| 10.3.3. | Riparazione o intervento locale | " 244 |
| 10.4. | Caratterizzazione meccanica dei materiali | " 245 |
| 10.5. | Livelli di conoscenza e fattori di confidenza..... | " 246 |
| 10.6. | I livelli di conoscenza per costruzioni in cemento armato o acciaio (C8A.1.B.3)..... | " 246 |
| 10.7. | I livelli di conoscenza per le costruzioni in muratura portante (C8A.1.A.4) | " 249 |
| 10.8. | Costruzioni in cemento armato..... | " 250 |
| 10.8.1. | Stato limite di collasso | " 251 |
| 10.8.2. | Stato limite di salvaguardia della vita | " 253 |
| 10.8.3. | Stato limite di esercizio | " 253 |
| 10.8.4. | Sintesi dei criteri di analisi e di verifica della sicurezza | " 255 |
| 10.9. | Criteri e tipi di intervento | " 255 |
| 10.10. | Progetto dell'intervento | " 257 |
| 10.11. | Cenni alle tecniche di consolidamento | " 258 |
| 10.11.1. | Applicazione di lamine in acciaio con la tecnica del "beton plaqu " (rif. C8A.7.2 del D.M. 16-01-2008)..... | " 258 |
| 10.11.2. | Rinforzo con fibre a matrice polimerica (FRP) (rif. C8A.7.3 del D.M. 16-01-2008)..... | " 259 |
| 10.11.3. | Incamiciatura con nuove armature (rif. C8A.7.1 del D.M. 16-01-2008)..... | " 260 |
| 10.11.4. | Interventi locali e di miglioramento in edifici in cemento armato | " 264 |
| 10.12. | Costruzioni esistenti in muratura portante..... | " 271 |
| 10.12.1. | Il rilievo geometrico e tipologico | " 272 |
| 10.12.2. | Diagnostica dello Stato Attuale | " 273 |
| 10.12.3. | Indagini non distruttive su murature esistenti | " 274 |
| 10.12.4. | Endoscopia..... | " 275 |
| 10.12.5. | Termografia..... | " 275 |
| 10.12.6. | Martinetti piatti | " 276 |

| | | | |
|---|---|----|-----|
| 10.12.7. | Prove soniche/ultrasoniche | p. | 278 |
| 10.12.8. | Indagini sclerometriche | " | 279 |
| 10.12.9. | Prove di pull-out | " | 280 |
| 10.12.10. | Indagini con pacometro | " | 280 |
| 10.12.11. | Valori tabellari di normativa | " | 280 |
| 10.12.12. | Interventi sulle murature in elevazione | " | 282 |
| 10.12.13. | Interventi di tipo "locale o di riparazione" | " | 287 |
| 10.12.14. | Apertura vani in pareti esistenti e calcolo cerchiature | " | 288 |
| 10.12.15. | Interventi migliorativi soggetti a sole verifiche semplificate | " | 291 |
| 10.12.16. | Altri interventi di modesta entità che si possono essere considerati come locali | " | 293 |
| 10.12.17. | Interventi di sopraelevazione di edifici esistenti | " | 300 |
| 10.12.18. | Meccanismi locali di collasso per le murature | " | 304 |
| 10.12.19. | Consolidamento delle fondazioni | " | 317 |
| 10.12.20. | Tecniche di consolidamento di archi e volte in muratura | " | 325 |
| 10.12.21. | La "curva delle pressioni" – Metodo di Mèry | " | 332 |
| APPENDICE | | " | 335 |
| ESTRATTO ABACO MURATURE – REGIONE TOSCANA – DIREZIONE REGIONALE DELLE POLITICHE TERRITORIALI E AMBIENTALI SETTORE – SERVIZIO SISMICO REGIONALE | | " | 350 |
| INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO | | " | 361 |
| Note sul software incluso | | " | 361 |
| Requisiti hardware e software | | " | 361 |
| Download del software e richiesta della password di attivazione | | " | 361 |
| Installazione ed attivazione del software | | " | 362 |
| ELENCO DEI MODELLI PRESENTI NEL SOFTWARE | | " | 363 |
| BIBLIOGRAFIA | | " | 371 |

PREFAZIONE

Questa pubblicazione rappresenta la continuazione e l'approfondimento dei precedenti testi "*Edifici antisismici in cemento armato*" e "*Zone sismiche – Progetti e pratiche per il Genio Civile*". Nel testo si fa riferimento ad alcuni elementi tipici degli edifici in cemento armato e muratura secondo il metodo agli stati limite, in osservanza delle Norme Tecniche di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

Particolare attenzione è stata dedicata agli edifici nuovi ed esistenti in muratura ordinaria con particolare riferimento al recupero edilizio.

Il volume analizza gli aspetti pratici e teorici della progettazione di edifici in c.a. e muratura nuovi ed esistenti:

- materiali da utilizzare con riferimento alla durabilità delle opere e scelta del copriferro; controlli di accettazione in cantiere dei materiali per opere in c.a. e in muratura;
- travi: analisi tecnologica e statica di travi a spessore e travi ricalate o emergenti
- pilastri: analisi tecnologica e statica;
- pareti in cemento armato;
- scale: alcune tipologie ed elementi tecnologici, scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo, scale a soletta rampante;
- solai: a soletta piena; prefabbricati; gettati in opera; con travetti in cemento armato o laterocemento con blocchi di alleggerimento (pignatte) gettati in opera o parzialmente prefabbricati; solai a nervature incrociate
- fondazioni: aspetto geotecnico-meccanico dei terreni; aspetto tecnico-statico; cedimenti assoluti e differenziali; principali fondazioni dirette, travi rovesce, plinti, platee; cenni sulle fondazioni su pali;
- elementi secondari quali: tamponamenti, verifiche locali nei solai;
- murature nuove ed esistenti;
- verifica sismica semplificata per edifici in muratura e per costruzioni in zona 4;
- giunti sismici e distanza tra costruzioni contigue;
- tipologie delle strutture in cemento armato e muratura con indicazione circa la soluzione dello schema statico e di schemi semplificati come le travi continue; analisi dei carichi statici e dinamici; fattore di struttura e spettro di progetto;
- interventi locali, di miglioramento o adeguamento sismico su costruzioni esistenti in cemento armato e muratura;
- costruzioni esistenti in muratura, meccanismi locali di collasso, archi e volte.

Il testo analizza anche le procedure per la presentazione delle pratiche agli Uffici del Genio Civile con l'indicazione della documentazione necessaria di progetto anche per via telematica.

Un capitolo è dedicato anche al collaudo statico in corso d'opera e alle procedure di indagine sui materiali.

In appendice è riportato un prontuario con l'indicazione delle principali formule da utilizzare nel progetto e verifica secondo il metodo agli Stati Limite Ultimi e di esercizio ed un abaco delle murature esistenti.

Cascina (PI), novembre 2015

Ing. Riccardo Mariotti

MATERIALI

▼ 1.1. Calcestruzzo

Il calcestruzzo si distingue in due categorie: calcestruzzo a composizione garantita e calcestruzzo a prestazione garantita.

Il calcestruzzo a prestazione garantita può essere specificato dal progettista come una miscela progettata con riferimento alle proprietà meccaniche richieste al calcestruzzo.

Il calcestruzzo a composizione richiesta o garantita può essere specificato, su richiesta della Stazione Appaltante come miscela prescritta prescrivendo la composizione in base ai risultati di prove preliminari effettuate secondo la procedura di seguito definita, o in base all'esperienza a lungo termine acquisita su calcestruzzo simile.

Per il calcestruzzo a «miscela progettata» il progettista ha la responsabilità di specificare le prestazioni richieste ed ulteriori caratteristiche e per il quale il produttore è responsabile della fornitura di una miscela conforme alle prestazioni richieste ed alle ulteriori caratteristiche.

Per miscela a composizione richiesta si intende un calcestruzzo del quale il progettista specifica la composizione della miscela ed i materiali da utilizzare. Il produttore è responsabile della fornitura della miscela specificata così come richiesta, ma non risponde delle prestazioni effettive della stessa.

Nel caso di calcestruzzo a composizione richiesta, occorre presentare una documentazione delle prove preliminari effettuate, volte a garantire che la composizione richiesta sia adeguata per soddisfare tutti i requisiti riguardanti le prestazioni del calcestruzzo nella fase fresca ed indurita, tenendo conto dei materiali componenti da utilizzare e delle particolari condizioni del cantiere.

I dati fondamentali per i calcestruzzi a prestazione garantita, da indicarsi in tutti i casi, comprendono:

- a) classe di resistenza;
- b) massima dimensione nominale degli aggregati;
- c) prescrizioni sulla composizione del calcestruzzo a seconda della sua destinazione d'uso (per esempio: classe di esposizione ambientale; calcestruzzo semplice o armato, normale o pre-compresso);
- d) classe di consistenza.

Se del caso, dovranno essere determinate le seguenti caratteristiche, secondo le linee guida sul calcestruzzo strutturale del Consiglio Superiore sui Lavori Pubblici:

- 1) caratteristiche del calcestruzzo indurito:
 - resistenza alla penetrazione dell'acqua ai fini della permeabilità;
 - resistenza ai cicli di gelo e disgelo;
 - resistenza all'azione combinata del gelo e di agenti disgelanti;
 - resistenza agli attacchi chimici;
 - requisiti tecnici aggiuntivi.

2) caratteristiche della miscela:

- tipo di cemento;
- classe di consistenza;
- contenuto d'aria;
- sviluppo di calore durante l'idratazione;
- requisiti speciali riguardanti gli aggregati;
- requisiti speciali concernenti la resistenza alla reazione alcali silice;
- requisiti speciali riguardo alla temperatura del calcestruzzo fresco;
- requisiti tecnici aggiuntivi.

Nel caso di calcestruzzo preconfezionato, vanno considerate anche condizioni supplementari relative al trasporto ed alle procedure di cantiere quali tempo e frequenza delle consegne, trasferimento per pompaggio ecc..

1.1.1. Calcestruzzo indurito

La resistenza a compressione del calcestruzzo viene espressa in termini di resistenza caratteristica, definita come quel valore al di sotto del quale viene a trovarsi dal punto di vista probabilistico il 5% dell'insieme di tutti i possibili valori di resistenza misurati sul calcestruzzo in esame.

Classi di resistenza a compressione

Il calcestruzzo è classificato in base alla resistenza a compressione, espressa come resistenza caratteristica R_{ck} oppure f_{ck} . La resistenza caratteristica R_{ck} viene determinata sulla base dei valori ottenuti da prove a compressione a 28 giorni su cubi di 150 mm di lato; la resistenza caratteristica f_{ck} , viene determinata sulla base dei valori ottenuti da prove a compressione a 28 giorni su cilindri di 150 mm di diametro e 300 mm di altezza; i valori, espressi in N/mm², risultano compresi in uno dei seguenti campi:

- calcestruzzo non strutturale: C8/10 – C12/15;
- calcestruzzo ordinario: C16/20 – C45/55;
- calcestruzzo ad alte prestazioni: C50/60 – C60/75;
- calcestruzzo ad alta resistenza: C70/85 – C100/115.

Non è ammesso l'uso di conglomerati di classe inferiore a C20/25 per costruzioni in zona sismica.

Per ciascuna classe di calcestruzzo impiegato devono essere conosciuti e riportati nelle relazioni di calcolo i seguenti valori caratteristici:

- resistenza di calcolo a trazione (f_{ctd}); la resistenza a trazione del calcestruzzo dovrà essere prescritta e misurata o come resistenza «indiretta» (per spacco, $f_{ct,sp}$, prova brasiliana; a flessione, $f_{ct,fl}$, prova su tre punti; rispettivamente UNI 6135 e UNI 6130) o come resistenza «diretta» (prova assiale, f_{ct} , RILEM CPC7 ovvero ISO 4108).

La resistenza media a trazione f_{ctm} , può anche essere espressa, in via approssimata, sempre a 28 giorni, dai risultati della prova di trazione indiretta, oppure tramite la seguente relazione (FIP-CEB MC90 ed EC2):

$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} = 0,27 R_{ck}^{2/3}$ (N/mm²). La resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} può essere assunta pari a $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$.

- resistenza a rottura per flessione (f_{cfm});
- resistenza tangenziale di calcolo (t_{Rd});
- modulo elastico normale (E);

- modulo elastico tangenziale (G);
- coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale (γ_C);
- resistenza cubica caratteristica del materiale (R_{ck});
- coefficiente di omogeneizzazione;
- peso specifico;
- coefficiente di dilatazione termica.

1.1.2. Resistenze caratteristiche a compressione di calcolo

La deformazione massima $\varepsilon_{c\ max}$ è assunta pari a 0,0035.

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione, f_{cd} , è:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C$$

dove:

- α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata pari a 0,85;
- γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo pari a 1,5;
- f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni. La resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} del conglomerato è data da $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$ essendo R_{ck} la resistenza caratteristica cubica a compressione.

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 14-01-2008; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata dovrà essere adottato nei calcoli uno dei modelli riportati in figura 1.

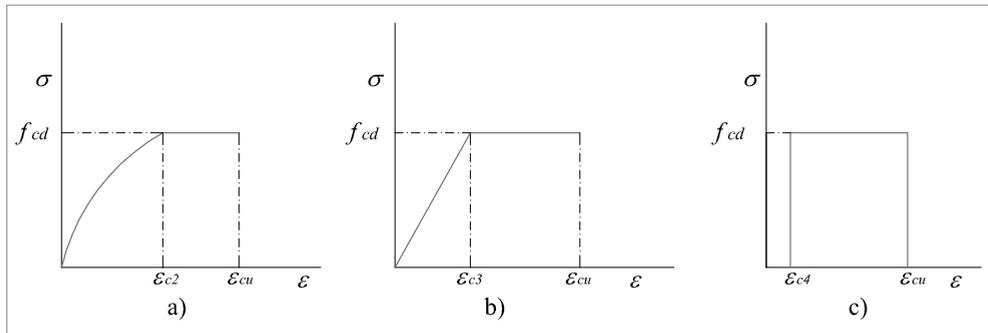


Figura 1. Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

1.1.3. Fattori che influenzano la resistenza del calcestruzzo

- *Quantità di cemento:* la resistenza del calcestruzzo aumenta quasi proporzionalmente al quantitativo di cemento impiegato; tuttavia dosi eccessive normalmente maggiori di 500 kg/m³ sono inutili o addirittura possono risultare dannose.
- *Composizione degli aggregati:* gli aggregati devono essere di buona qualità, puliti e dosati accuratamente. Per ottenere un buon calcestruzzo la miscela di aggregati deve avere una

corretta granulometria, ottenuta mescolando in proporzioni opportune aggregati di tipo diverso. Gli inerti formano lo scheletro solido portante del calcestruzzo e ne costituiscono la percentuale prevalente in peso e volume: la loro qualità è determinante per la buona riuscita del calcestruzzo. Per minimizzare il volume dei vuoti nell'impasto, si devono usare aggregati di diverso diametro:

- aggregati a grana grossa (ghiaia o pietrisco);
- aggregati a grana fine (sabbia).

Il controllo della granulometria viene fatto tracciando la curva granulometrica della miscela, (curva o fuso di “Fuller”) che si ottiene riportando in un diagramma, in funzione del diametro, la percentuale in peso degli aggregati passanti in crivelli con fori di diametro crescente. Un criterio valido per giudicare della qualità della curva consiste nel verificare che essa sia contenuta all'interno di una zona.

- *Rapporto acqua/cemento (A/C)*: per la presa del calcestruzzo sono necessari circa 40 litri di acqua per ogni 100 kg di cemento, ma per rendere il calcestruzzo lavorabile questa quantità deve aumentare a circa il doppio. Tuttavia, come noto, all'aumentare del rapporto acqua/cemento la resistenza meccanica del calcestruzzo diminuisce drasticamente. È bene allora tenere un rapporto acqua/cemento paria 0,5 che media la necessità di avere un calcestruzzo lavorabile e di ottima resistenza meccanica. All'occorrenza si può ricorrere all'aggiunta di fluidificanti per migliorare la lavorabilità e tenere valori più bassi del rapporto (A/C).
- *Acqua di impasto*: è l'acqua che combinandosi con il cemento nel fenomeno dell'idratazione (reazione chimica esotermica), dà luogo alla “presa” che trasforma l'impasto in una massa solida. Terminata la fase di presa inizia la fase di indurimento. L'acqua da usare nell'impasto deve essere il più possibile pura, è consigliabile l'uso di acqua potabile. Devono essere evitate acque contenenti percentuali elevate di solfati e le acque contenenti rifiuti di origine organica o chimica. La presenza di impurità infatti interferisce con la presa, provocando una riduzione della resistenza del conglomerato.
- *Additivi*: fluidificanti, antigelo, ritardanti di presa, ecc..
- *Condizioni ambientali durante la maturazione*: la velocità della presa del cemento aumenta rapidamente con la temperatura. Il caldo secco e la diretta esposizione al sole sono dannosi, perché producono l'evaporazione dell'acqua superficiale. È buona norma in estate mantenere il getto in estate coperto e bagnato. Il freddo rallenta la presa. Se l'acqua gela, la formazione del ghiaccio interrompe il processo e la dilatazione dovuta al ghiaccio rompe i legami già formati. I processi chimici della presa del cemento si protraggono per anni e le prestazioni meccaniche variano di conseguenza. Le condizioni di umidità durante la stagionatura influenzano la resistenza finale del calcestruzzo. Una maturazione accelerata del getto può essere ottenuta con trattamenti con vapore ad alta temperatura in tal modo a 24 ore si hanno già resistenze dell'ordine del 60% delle resistenze a 28 giorni con normale maturazione; questo tipo di maturazione è tipico degli elementi prefabbricati.

▼ 1.2. Acciaio

La norma UNI EN 10027-1 fissa i sistemi di designazione alfanumerica degli acciai.

La designazione in base all'impiego ed alle caratteristiche meccaniche o fisiche (gruppo 1) prevede che l'acciaio strutturale sia definitivo con una sigla alfanumerica la cui prima è:

- B: per acciaio da utilizzare per le opere in calcestruzzo armato ordinario;
- Y: per acciaio da utilizzare per le opere in calcestruzzo armato precompresso;
- S: per acciaio da utilizzare per le carpenterie metalliche.

Di seguito alla sigla viene riportato il valore della tensione di snervamento minima in N/mm² (MPa). Infine la sigla riporta altre lettere che individuano le caratteristiche della acciaio ad esempio per gli acciai da carpenteria può essere riportato:

- JR: acciaio con resilienza minima di 27 J a 20 °C;
- KR: acciaio con resilienza minima di 40 J a 20 °C.

Ad esempio una sigla S235JR indica un acciaio da carpenteria metallica con tensione di snervamento di 235 N/mm² e resilienza non inferiore a 27.

Il D.M. 14-01-2008, in riferimento all'acciaio da cemento armato normale (figura 2), o acciaio per armatura lenta, prevede l'utilizzo solo delle seguenti classi di acciaio ad aderenza migliorata:

- **B450C** (*acciaio laminato a caldo*): caratterizzato da una tensione di rottura non inferiore a 540 N/mm², da una tensione di snervamento non inferiore a 450 N/mm² e da un allungamento totale a carico massimo non inferiore al 7%;
- **B450A** (*acciaio trafilato a freddo*): caratterizzato da una tensione di rottura non inferiore a 540 N/mm², da una tensione di snervamento non inferiore a 450 N/mm² e da un allungamento totale a carico massimo non inferiore al 3%. Questo tipo di acciaio ha pertanto minore duttilità rispetto al precedente.

La normativa prevede inoltre per l'acciaio B450A una tensione di progetto f_{yd} inferiore a quella dell'acciaio B450C.

Per l'acciaio B450C la tensione di snervamento f_{yk} viene divisa per il solo coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio $\gamma_f = 1,15$ secondo la formula: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_f$ mentre per il B450A anche per un ulteriore coefficiente di modello $\gamma_e = 1,20$ secondo la formula: $f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_f \cdot \gamma_e)$.

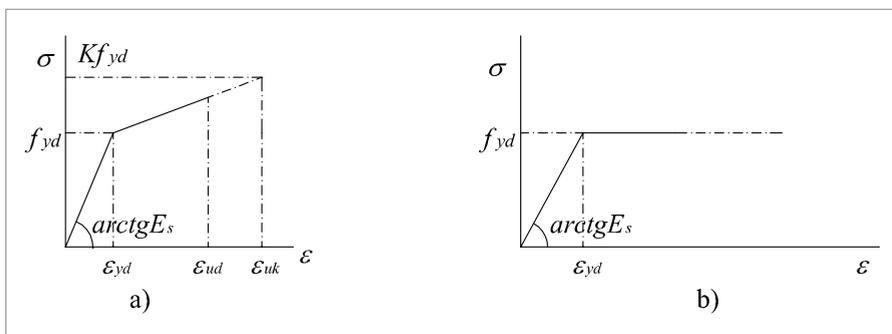


Figura 2. Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio

Il D.M. 14-01-008 prevede le seguenti tipologie di acciaio da cemento armato ordinario:

- *barre*: in acciaio tipo B 450 C ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 50 \text{ mm}$) e tipo B 450 A ($5 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 10 \text{ mm}$);
- *rotoli*: in acciaio tipo B 450 C ($\varnothing \leq 16 \text{ mm}$) e tipo B 450 A ($\varnothing \leq 10 \text{ mm}$);
- *reti e tralicci elettrosaldati*: in acciaio tipo B 450 C ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$) e tipo B 450 A ($5 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 10 \text{ mm}$).

L'acciaio per costruzione in calcestruzzo armato è costituito principalmente da barre tonde ad aderenza migliorata, della lunghezza standard di 12 m, denominati spesso tondini.

Per le strutture in zona sismica deve essere utilizzato esclusivamente acciaio B450C. Si consente l'utilizzo di acciai di tipo B450A, con diametri compresi tra 5 e 10 mm, per le reti e i tralicci; se ne consente inoltre l'uso per l'armatura trasversale unicamente se è rispettata almeno una delle seguenti condizioni: elementi in cui è impedita la plasticizzazione mediante il rispetto del criterio di gerarchia delle resistenze, elementi secondari, strutture poco dissipative con fattore di struttura $q = 1,5$.

Per il diagramma tensione-deformazione ($\sigma - \epsilon$) dell'acciaio è possibile adottare due modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale, modelli definiti in base al valore di calcolo $\epsilon_{ud} = 0,9 \cdot \epsilon_{uk}$ ($\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$) della deformazione uniforme ultima, al valore di calcolo della tensione di snervamento f_{yd} ed al rapporto di sovrarresistenza $k = (f_t/f_y)_k$.

I due modelli $\sigma - \epsilon$ per l'acciaio sono:

- bilineare finito con incrudimento;
- elastico-perfettamente plastico indefinito che sarà adoperato nelle formule di verifica qui trattate.

L'acciaio B450C ed è caratterizzato dai valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento riportati in tabella e deve rispettare i requisiti della tabella:

| | | | |
|--|---|------------|--|
| $f_{y\ nom}$ | 450 N/mm ² = 450 Mpa = 4500 kg/cm ² | | |
| $f_{t\ nom}$ | 5400 N/mm ² | | |
| CARATTERISTICHE | REQUISITI | FRATTILE % | |
| Tensione caratteristica di snervamento f_{yK} | $\geq f_{y\ nom}$ | 5,0 | |
| Tensione caratteristica di rottura f_K | $\geq f_{t\ nom}$ | 5,0 | |
| $(f_t/f_y)_K$ | $\geq 1,15$ $< 1,35$ | 10,0 | |
| $(f_y/f_{y\ nom})_K$ | $\geq 1,25$ | 10,0 | |
| Allungamento $(A_{gt})_K$ | $\geq 7,5\%$ | 10,0 | |
| Diametro mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche: | | | |
| $\phi < 12\ mm$ | 4 ϕ | | |
| $12 \leq \phi \leq 16\ mm$ | 5 ϕ | | |
| per $16 < \phi \leq 25\ mm$ | 8 ϕ | | |
| per $25 < \phi \leq 40\ mm$ | 10 ϕ | | |

La resistenza di calcolo è data da f_{yk}/γ_f . Il coefficiente di sicurezza γ_f si assume pari a 1,15.

Per l'accertamento delle proprietà meccaniche di cui alle precedenti tabelle vale quanto indicato nella norma UNI EN ISO 15630-1:2004. Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

▼ 1.3. Controllo di accettazione calcestruzzo (cap. 11.2 e 11.3 del D.M. 14-01-2008)

Durante il corso dei lavori il direttore dei lavori ha l'obbligo di controllare che il valore caratteristico della resistenza del calcestruzzo non sia inferiore a quello fissato in fase di progetto dal progettista eseguendo dei prelievi.

Per la normativa italiana un prelievo è formato da due campioni, prelevati da uno stesso getto al momento della posa in opera; la media delle resistenze dei due campioni è detta resistenza di prelievo. Il controllo di accettazione si può eseguire secondo due diverse modalità:

- *tipo A*: Si esegue un prelievo (2 provini) ogni 100 m³ di getto con un minimo di 3 prelievi; si riferisce pertanto ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³; va comunque eseguito un prelievo per ogni giorno di getto ad eccezione per le costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi;
- *tipo B*: Nel caso di costruzioni con più di 1500 m³ di calcestruzzo è ammesso un controllo di tipo statistico eseguendo almeno un prelievo ogni giorno di getto e, complessivamente, non meno di 15 prelievi ogni 1500 m³.

La domanda di prove di laboratorio deve essere sottoscritta dal direttore dei lavori e deve contenere precise indicazioni sulle strutture interessate da ciascun prelievo. Le prove a compressione vanno eseguite conformemente alle norme UNI EN 12390-3:2003.

Per un prelievo ogni 100 m³ di getto.

Indicando con R_m la media aritmetica delle tre resistenze di prelievo e con R_{min} il valore minimo tra i tre, il controllo è superato se:

- $R_m \geq R_{ck} + 3.5$ (N/mm²);
- $R_{min} \geq R_{ck} - 3.5$ (N/mm²).

Il controllo di tipo statistico è superato se sono verificate le condizioni seguenti:

- $R_m \geq R_{ck} + 1.4 s$;
- $R_{min} \geq R_{ck} - 3.5$ (N/mm²);

in cui R_{min} è il valore minimo delle resistenze di prelievo ed s^2 il loro scarto quadratico medio.

$$R_m = (1/n) \cdot \sum R_i \text{ ed } s^2 = [1/(n-1)] \cdot \sum (R_i - R_m)^2$$

La Circolare Ministeriale n. 617/2009 afferma esplicitamente che ai fini di un efficace controllo di accettazione di Tipo A è necessario che il numero dei campioni da prelevare e provare sia non inferiore a sei (tre prelievi), anche per getti di quantità inferiore 100 m³. Le prove dovranno essere svolte intorno al ventottesimo giorno di stagionatura o al limite con qualche settimana di ritardo.

La C.M. 617 del 02-02-2009 al capitolo 11.2.5 e al C11.2.5.3, impone ai Laboratori di Prova che qualora il numero dei campioni di calcestruzzo consegnati sia inferiore a sei, sul certificato di prova venga apposta la seguente nota: “*si segnala al direttore dei lavori che il numero dei campioni provati non è sufficiente per eseguire il controllo di tipo A previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni*”.

Imprese e direttori dei lavori dovranno quindi porre la massima attenzione al numero dei campioni da prelevare e sottoporre a prova per evitare che il relativo certificato sia di fatto inefficace per il controllo di accettazione. In assenza di firma e timbro del direttore dei lavori sulla richiesta di prove il laboratorio è obbligato ad emettere, in luogo del Certificato, un documento similare denominato “Rapporto di prova” che non avrà però validità a tutti gli effetti di legge.

▼ 1.4. Controllo accettazione acciaio

L'acciaio deve essere sottoposto a controllo di accettazione campionando 3 spezzoni (di lunghezza 130 cm, come solitamente richiesto), marchiati, di uno stesso diametro, scelto entro ciascun

lotto, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza da uno stesso stabilimento. Altrimenti i controlli devono essere estesi ai lotti provenienti da altri stabilimenti (punto 11.3.2.10.4 del D.M. 14-01-2008). Il controllo risulta positivo se i valori di resistenza e allungamento di ciascun campione rispettano i valori riportati nella Tabella 11.3.VI del D.M. 14-01-2008.

Se la fornitura di elementi sagomati o assemblati provenga da un centro di trasformazione, il direttore dei lavori, dopo essersi accertato che esso abbia i requisiti previsti dal D.M. 14-01-2008, si potrà recare presso il medesimo centro dove, il Direttore Tecnico del Centro di Trasformazione, preleverà i campioni da inviare presso un laboratorio autorizzato secondo le disposizioni dello stesso direttore dei lavori; quest'ultimo deve assicurare che i campioni inviati al Laboratorio incaricato siano quelli da lui prelevati.

Per effettuare le prove su reti e tralicci elettrosaldati si devono prelevare tre campioni quadrati di lato 120 cm per le reti e tre campioni di 150 cm di lunghezza per i tralicci.

Ai sensi del cap. 11.3.1.7 del D.M. 2008 si definisce Centro di Trasformazione, nell'ambito degli acciai, un impianto esterno al cantiere che riceve dal produttore di acciaio elementi base (barre, rotoli, reti, lamiere, profilati, ecc.) e confeziona elementi strutturali direttamente impiegabili, per esempio elementi staffe, ferri piegati, ecc., o preassemblati come le gabbie di armatura già predisposte per la messa in opera.

Ogni fornitura in cantiere di elementi saldati, presagomati o assemblati, deve essere accompagnata da:

- a) dichiarazione sul documento di trasporto degli estremi dell'attestato di avvenuta dichiarazione di attività rilasciata dal Servizio Tecnico Centrale, recante il marchio il logo del Centro di Trasformazione.
- b) attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno fatte eseguire dal Direttore Tecnico del Centro di Trasformazione con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Il direttore dei lavori inoltre può richiedere copia dei certificati relativi alle prove effettuate nei giorni in cui la lavorazione è stata effettuata.

Il direttore dei lavori è tenuto a rifiutare eventuali forniture non conformi.

La documentazione suddetta sarà prodotta dal direttore dei lavori al Collaudatore il quale nel certificato di collaudo riporterà gli estremi del centro di trasformazione che ha fornito il materiale lavorato.

Nei casi in cui si verifichi la mancata sottoscrizione della richiesta di prove da parte del direttore dei lavori o che i campioni siano sprovvisti del marchio identificativo oppure non dovessero risultare tra quelli depositati, le certificazioni emesse dal Laboratorio non possono assumere valenza ai sensi del D.M. 14-01-2008, e di ciò sarà fatta esplicita menzione sul certificato.

▼ 1.5. Materiali edifici in muratura

1.5.1. Malte per murature

Le prestazioni meccaniche di una malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione f_m .

La classe di una malta è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza f_m espressa in N/mm².