

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

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
Installazione ed attivazione del software		"	361
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.

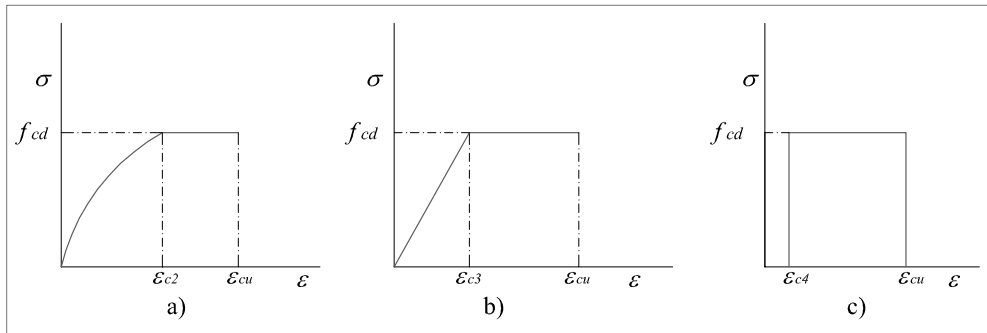


Figura 1. Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

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: $f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_f \cdot \gamma_e)$.

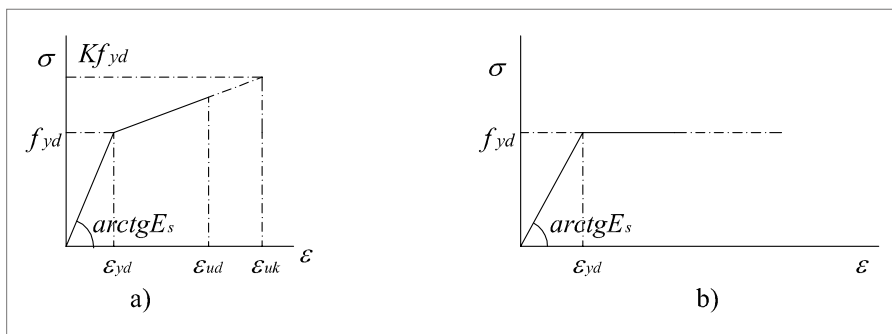


Figura 2. Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio

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

- *barre*: in acciaio tipo B 450 C (6 mm ≤ Ø ≤ 50 mm) e tipo B 450 A (5 mm ≤ Ø ≤ 10 mm);
- *rotoli*: in acciaio tipo B 450 C (Ø ≤ 16 mm) e tipo B 450 A (Ø ≤ 10 mm);
- *reti e tralicci elettrosaldati*: in acciaio tipo B 450 C (6 mm ≤ Ø ≤ 16 mm) e tipo B 450 A (5 mm ≤ Ø ≤ 10 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.

Per l'impiego in muratura portante non sono ammesse malte con resistenza $f_m < 2,5 \text{ N/mm}^2$.

Per garantire la durabilità è necessario che i componenti la miscela rispondano ai requisiti contenuti nelle norme UNI EN 1008:2003 (acqua di impasto), nelle norme europee armonizzate UNI EN 13139 (aggregati per malta) e UNI EN 13055-1 (aggregati leggeri).

Le malte possono essere prodotte in fabbrica (malte a prestazione garantita oppure malte a composizione prescritta) oppure prodotte in cantiere mediante la miscelazione di sabbia, acqua ed altri componenti leganti; la composizione delle malte per muratura prodotte in cantiere deve essere definita dalle specifiche del progetto.

1.5.1.1. Malte a prestazione garantita

La malta a prestazione garantita deve essere specificata per mezzo della classe di resistenza a compressione con riferimento alla classificazione riportata nella tabella sottostante:

Classi di malte a prestazione garantita						
Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm ²	2,5	5	10	15	20	d
<i>d</i> è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm ² dichiarata dal fabbricante						

Le modalità per la determinazione della resistenza a compressione delle malte sono riportate nella UNI EN 1015-11:2007.

La malta per muratura portante deve garantire prestazioni adeguate al suo impiego in termini di durabilità e di prestazioni meccaniche e deve essere conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 998-2 e, secondo quanto specificato al punto A del Cap. 11.1 delle N.T.C., recare la Marcatura CE, secondo il sistema di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione indicato nella seguente tabella:

Sistema di attestazione della conformità o di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione		
<i>Specificata Tecnica Europea di Riferimento</i>	<i>Uso Previsto</i>	<i>Sistema di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione</i>
Malta per murature UNI EN 998-2	Usi strutturali	2+

1.5.1.2. Malte a composizione garantita

Per le malte a composizione prescritta le proporzioni di composizione in volume o in massa di tutti i costituenti devono essere dichiarate dal fabbricante.

La resistenza meccanica dovrà essere verificata mediante prove sperimentali svolte in accordo con le UNI EN 1015-11:2007.

Le malte a composizione prescritta devono inoltre rispettare le indicazioni riportate nella norma europea armonizzata UNI EN 998-2 secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione indicato nella tabella sottostante.

Sistema di attestazione della conformità o di valutazione e verifica della costanza della prestazione		
<i>Specifica Tecnica Europea di Riferimento</i>	<i>Usa Previsto</i>	<i>Sistema di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione</i>
Malta per murature UNI EN 998-2	Usi strutturali e non	4

Per le composizioni in volume descritte nella tabella seguente è possibile associare la classe di resistenza specificata.

Corrispondenza tra classi di resistenza e composizione in volume delle malte						
<i>Classe</i>	<i>Tipo di malta</i>	<i>Composizione</i>				
		<i>Cemento</i>	<i>Calce aerea</i>	<i>Calce idraulica</i>	<i>Sabbia</i>	<i>Pozzolana</i>
M 2,5	Idraulica	–	–	1	3	–
M 2,5	Pozzolonica	–	1	–	–	3
M 2,5	Bastarda	1	–	2	9	–
M 5	Bastarda	1	–	1	5	–
M 8	Cementizia	2	–	1	8	–
M 12	Cementizia	1	–	–	3	–

1.5.1.3. Malte prodotte in cantiere

Nel caso di malte prodotte in cantiere, le miscele andranno calibrate in funzione delle specifiche di progetto. Le malte devono garantire prestazioni adeguate al loro impiego in termini di durabilità e di prestazioni meccaniche.

1.5.2. Elementi resistenti in muratura

1.5.2.1. Elementi artificiali

Gli elementi per muratura portante devono essere conformi alla pertinente norma europea armonizzata della serie UNI EN 771 e, recare la Marcatura CE, secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione indicato nella seguente tabella:

Specifica Tecnica Europea di riferimento	Categoria	Sistema di attestazione di conformità
Specifica per elementi per muratura – Elementi per muratura di laterizio, silicato di calcio, in calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri), calcestruzzo aerato autoclavato, pietra agglomerata, pietra naturale UNI EN 771-1, 771-2, 771-3, 771-4, 771-5, 771-6	Categoria I	2+
	Categoria II	4

Come più precisamente specificato nelle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771, gli elementi di categoria I hanno una resistenza alla compressione dichiarata, determinata tramite il valore medio o il valore caratteristico, e una probabilità di insuccesso nel raggiungerla non maggiore del 5%. Gli elementi di categoria II non soddisfano questo requisito.

L'uso di elementi per muratura portante di Categoria I e II è subordinato all'adozione, nella valutazione della resistenza di progetto, del corrispondente coefficiente parziale di sicurezza γ_M è sulla resistenza a compressione della muratura.

Gli elementi resistenti artificiali possono essere dotati di fori in direzione ortogonale al piano di posa (foratura verticale) oppure in direzione parallela (foratura orizzontale). Gli elementi possono essere rettificati sulla superficie di posa.

Per l'impiego nelle strutture in muratura portante, gli elementi sono classificati in base alla percentuale di foratura φ ed all'area media della sezione normale di ogni singolo foro f .

I fori sono di regola distribuiti pressoché uniformemente sulla faccia dell'elemento.

La percentuale di foratura è espressa dalla relazione $\varphi = 100 F/A$ dove: F è l'area complessiva dei fori passanti e profondi non passanti; A è l'area lorda della faccia dell'elemento di muratura delimitata dal suo perimetro.

Nel caso dei blocchi in laterizio estrusi la percentuale di foratura φ coincide con la percentuale in volume dei vuoti come definita dalla norma UNI EN 772-9:2007.

La classificazione per gli elementi in laterizio e calcestruzzo è riportata nelle tabelle seguenti:

Classificazione elementi in laterizio		
<i>Elementi</i>	<i>Percentuale di foratura φ</i>	<i>Area f della sezione normale del foro</i>
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$

Gli elementi in laterizio possono avere incavi di limitata profondità destinati ad essere riempiti dal letto di malta. Elementi di laterizio di area lorda A maggiore di 300 cm^2 possono essere dotati di un foro di presa di area massima pari a 35 cm^2 , da computare nella percentuale complessiva della foratura, avente lo scopo di agevolare la presa manuale; per A superiore a 580 cm^2 sono ammessi due fori, ciascuno di area massima pari a 35 cm^2 , oppure un foro di presa o per l'eventuale alloggiamento della armatura la cui area non superi 70 cm^2 .

Classificazione elementi in calcestruzzo			
<i>Elementi</i>	<i>Percentuale di foratura φ</i>	<i>Area f della sezione normale del foro</i>	
		$A \leq 900 \text{ cm}^2$	$A > 900 \text{ cm}^2$
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$

Non sono soggetti a limitazione i fori degli elementi in laterizio e calcestruzzo destinati ad essere riempiti di calcestruzzo o malta.

Lo spessore minimo dei setti interni (distanza minima tra due fori) è il seguente:

- elementi in laterizio e di silicato di calcio: 7 mm;
- elementi in calcestruzzo: 18 mm.

Spessore minimo dei setti esterni (distanza minima dal bordo esterno al foro più vicino al netto dell'eventuale rigatura) è il seguente:

- elementi in laterizio e di silicato di calcio: 10 mm;
- elementi in calcestruzzo: 18 mm.

Per i valori di adesività malta/elemento resistente si può fare riferimento a indicazioni di normative di riconosciuta validità.

1.5.2.2. Elementi naturali

Gli elementi naturali sono ricavati da materiale lapideo non friabile o sfaldabile, e resistente al gelo; essi non devono contenere in misura sensibile sostanze solubili, o residui organici e devono essere integri, senza zone alterate o rimovibili.

▼ 1.6. Meccaniche delle murature

Le proprietà fondamentali in base alle quali si classifica una muratura sono la resistenza caratteristica a compressione f_k , la resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale f_{vk0} , il modulo di elasticità normale secante E , il modulo di elasticità tangenziale secante G .

Le resistenze caratteristiche f_k e f_{vk0} possono essere determinate o sperimentalmente su campioni di muro o, con alcune limitazioni, in funzione delle proprietà degli elementi e della malta.

I valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate per le verifiche strutturali devono essere indicati nel progetto delle opere.

Quando il calcolo richiede un valore di f_k maggiore o uguale a 8 MPa si deve controllare il valore di f_k , mediante prove sperimentali come indicato nelle NTC.

1.6.1. Resistenza a compressione

Stima della resistenza a compressione

La resistenza caratteristica sperimentale a compressione si determina su n muretti ($n \geq 6$), secondo la procedura descritta nella norma UNI EN 1052-1:2001.

La determinazione della resistenza caratteristica deve essere completata con la verifica dei materiali, da condursi come segue:

- **Malta:** n . 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti, secondo la norma UNI EN 1015-11:2007;
- **Elementi resistenti:** n . 10 elementi da sottoporre a compressione con direzione del carico normale al letto di posa, secondo la norma europea armonizzata UNI EN 772-1.

Il valore della resistenza caratteristica a compressione della muratura formata da elementi pieni o semipieni artificiali, da utilizzare nei calcoli strutturali, f_k può essere ricavato dalla resistenza caratteristica a compressione degli elementi f_{bk} e dalla classe di appartenenza della malta utilizzando la seguente tabella:

Valori di f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in N/mm ²)				
Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Tipo di malta			
	M 15	M 10	M 5	M 2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	–

Nel caso la resistenza a compressione degli elementi sia dichiarata e/o conosciuta mediante il suo valore medio f_{bm} , in assenza di una determinazione sperimentale diretta, la resistenza caratteristica dell'elemento f_{bk} , riportata nella tabella, può essere stimata mediante la relazione $f_{bk} = 0,8 f_{bm}$. La validità della tabella è limitata a quelle murature aventi giunti orizzontali e verticali riempiti di malta e di spessore compreso tra 5 e 15 mm.

Per valori non contemplati in tabella è ammessa l'interpolazione lineare; in nessun caso sono ammesse estrapolazioni.

Convenzionalmente, nel caso di murature costituite da elementi naturali si assume la resistenza caratteristica a compressione dell'elemento f_{bk} pari a: $f_{bk} = 0,75 f_{bm}$, essendo f_{bm} la resistenza media a compressione degli elementi in pietra squadrata.

Il valore della resistenza caratteristica a compressione della muratura da utilizzare nei calcoli strutturali f_k può essere ricavato dalla resistenza caratteristica a compressione degli elementi f_{bk} e dalla classe di appartenenza della malta utilizzando la seguente tabella:

Valori di f_k per murature in elementi naturali di pietra squadrata (valori in N/mm ²)				
Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Tipo di malta			
	M 15	M 10	M 5	M 2,5
2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
≥ 40,0	14,3	12,0	10,4	–

Per valori non contemplati in tabella è ammessa l'interpolazione lineare; in nessun caso sono ammesse estrapolazioni.

In alternativa alla determinazione sperimentale della resistenza a compressione, per la stima della resistenza caratteristica a compressione della muratura in elementi artificiali e naturali, è anche possibile fare riferimento a quanto riportato al capitolo 3.6 della norma UNI EN 1996-1-1:2013, integrata dalla relativa Appendice Nazionale.

Per la determinazione della resistenza normalizzata del blocco f_b a cui queste norme si riferiscono, qualora essa non sia dichiarata dal fabbricante, si utilizzano i fattori di conversione della resistenza alla compressione media del blocco contenuti nella appendice A della UNI EN 772-1.

Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali

In fase di progetto, per le murature formate da elementi artificiali oppure in pietra naturale squadrata, il valore di f_{vk0} , può essere determinato sperimentale, o essere dedotto dalla tabella sottostante.

Per valori non contemplati in tabella è ammessa l'interpolazione lineare; in nessun caso sono ammesse estrapolazioni.

Per caratteristiche dei materiali (resistenza della malta o resistenza dei blocchi) diverse da quelle contemplate in tabella, è necessario ricorrere alla determinazione sperimentale.

Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali f_{vk0} (valori in N/mm²) – NTC 2015				
Elementi per murature	f_{vk0} N/mm ²			
	Malta ordinaria di classe di resistenza data		Malta per strati sottili (giunto orizzontale $\geq 0,5$ mm e ≤ 3 mm)	Malta alleggerita
Laterizio	M10 – M20 M1 – M2 M2,5 – M9	0,30 0,20 0,10	0,30*	0,15
Silicato di calcio	M10 – M20 M1 – M2 M2,5 – M9	0,20 0,15 0,10	0,20**	0,15
Calcestruzzo vibrocompresso Calcestruzzo areato autoclavato Pietra artificiale e pietra naturale a massello	M10 – M20 M1 – M2 M2,5 – M9	0,20 0,15 0,10	0,20**	0,15
* valore valido per malte di classe M10 o superiore e resistenza dei blocchi $f_{bk} \geq 5.0$ N/mm ²				
** valore valido per malte di classe M5 o superiore e resistenza dei blocchi $f_{bk} \geq 3.0$ N/mm ²				

La resistenza caratteristica sperimentale a taglio si determina su n campioni ($n \geq 6$), seguendo sia, per la confezione che per la prova, le modalità indicate nella norma UNI EN 1052-3:2007 e, per quanto applicabile, UNI EN 1052-4:2001.

In alternativa, la resistenza caratteristica a taglio può essere valutata con prove di compressione diagonale su n campioni di muratura ($n \geq 6$) seguendo, sia per la confezione che per la prova, le modalità indicate in normative di comprovata validità.

Materiali e prodotti per uso strutturale

I valori in tabella, desunti dalla bozza delle nuove NTC 2015, possono essere direttamente utilizzati nel caso di giunti orizzontali e verticali riempiti di malta. Nel caso di giunti orizzontali riempiti di malta e giunti verticali non riempiti, ma con le facce adiacenti degli elementi di muratura poste in contatto l'una con l'altra, i valori della tabella vanno dimezzati. Per la stima della resistenza a taglio della muratura con letto di malta interrotto, nella quale gli elementi di muratura sono disposti su due o più strisce uguali di malta ordinaria riempiti, i valori di f_{vk0} relativi al letto pieno vanno opportunamente ridotti secondo quanto indicato nella norma UNI EN 1996-1-1 integrata dalla relativa Appendice Nazionale.

Resistenza caratteristica a taglio

In presenza di tensioni di compressione, la resistenza caratteristica a taglio della muratura, f_{vk} , è definita come resistenza all'effetto combinato delle forze orizzontali e dei carichi verticali agenti nel piano del muro e può essere ricavata tramite la relazione (Mohr Coulomb)

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$$

dove:

- f_{vk0} è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;
- σ_n è la tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti nella sezione di verifica.

Deve risultare, inoltre, soddisfatta la relazione:

$$f_{vk} \leq f_{vk,lim}$$

con $f_{vk,lim}$ valore massimo della resistenza caratteristica a taglio che può essere impiegata nel calcolo;

Il valore massimo della resistenza caratteristica a taglio si pone pari a: ($f_{vk,lim} = 0,065 f_b$) ad eccezione degli elementi pieni in calcestruzzo aerato autoclavato e di tutti gli elementi caratterizzati da una resistenza a trazione (misurata in direzione orizzontale parallelamente al piano di posa) maggiore o uguale a $0,2 f_b$, per i quali si pone:

$$f_{vk,lim} = 0,10 f_b$$

dove f_b è la resistenza normalizzata a compressione verticale dei blocchi valutata secondo le norme armonizzate della serie UNI EN 771.

I valori di $f_{vk,lim}$ sopra riportati sono relativi a muratura con giunti verticali riempiti di malta. Nel caso di giunti orizzontali riempiti di malta e giunti verticali non riempiti, ma con le facce adiacenti degli elementi di muratura poste in contatto l'una dell'altra, si adotta $f_{vk,lim} = 0,045 f_b$.

Moduli di elasticità secanti

Il modulo di elasticità normale secante della muratura è valutato sperimentalmente su n muretti ($n \geq 6$), seguendo sia per la confezione che per la prova le modalità indicate nella norma UNI EN 1052-1:2001.

In mancanza di dati sperimentali, nei calcoli di progetto possono essere assunti i seguenti valori:

- modulo di elasticità normale secante $E = 1000 f_k$;
- modulo di elasticità tangenziale secante $G = 0,4 E$;

dove f_k è la resistenza caratteristica a compressione della muratura.

1.6.2. Resistenze di progetto

Le resistenze di progetto da impiegare, rispettivamente, per le verifiche a compressione, pressoflessione e a carichi concentrati (f_d), e a taglio (f_{vd}) valgono:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$$

dove:

- f_k è la resistenza caratteristica a compressione della muratura;
- f_{vk} è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in presenza delle effettive tensioni di compressione e γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura; il valore di γ_M è in relazione delle incertezze di modello e di geometria variabile in funzione delle classi di esecuzione 1 oppure 2 e a seconda che gli elementi resistenti utilizzati siano di categoria I o di categoria II.

Valori del coefficiente γ_M in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti		
Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

Gli elementi per la muratura, che devono avere l'attestato di conformità alla norma europea, sono di categoria I se sono soggetti a un controllo statistico della resistenza a compressione (certificazione di controllo statistico della produzione in fabbrica) oppure sono di categoria II se non soddisfano i requisiti della categoria I (autocertificazione del produttore).

L'attribuzione delle Classi di esecuzione 1 e 2 viene effettuata adottando quanto di seguito indicato.

Per la Classe 2:

- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, dipendente dell'impresa esecutrice, per la supervisione del lavoro (capocantiere);
- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, indipendente dall'impresa esecutrice, per il controllo ispettivo del lavoro (direttore dei lavori).

La Classe 1 è attribuita qualora siano previsti, oltre ai controlli previsti per la Classe 1, le seguenti operazioni di controllo:

- controllo e valutazione in cantiere delle proprietà della malta e del calcestruzzo;
- dosaggio dei componenti della malta "a volume" con l'uso di opportuni contenitori di misura e controllo delle operazioni di miscelazione o uso di malta premiscelata certificata dal produttore.

▼ 1.7. Prove di accettazione per edifici in muratura

Il Direttore dei Lavori è tenuto a far eseguire ulteriori prove di accettazione sugli elementi per muratura portante pervenuti in cantiere secondo le metodologie di prova indicate nelle norme europee armonizzate UNI EN 771.

Le prove di accettazione su materiali sono obbligatorie per i soli elementi che costituiscono muratura portante e devono essere eseguite e certificate presso un laboratorio di cui all'articolo 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Il laboratorio incaricato di effettuare le prove provvede all'accettazione dei campioni accompagnati dalla lettera di richiesta sottoscritta dal direttore dei lavori. Il laboratorio verifica lo stato dei provini e la documentazione di riferimento ed in caso di anomalie riscontrate sui campioni oppure di mancanza totale o parziale degli strumenti idonei per la identificazione degli stessi, deve sospendere l'esecuzione delle prove e darne notizia al Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove. I laboratori devono conservare i campioni sottoposti a prova per almeno trenta giorni dopo l'emissione dei certificati di prova, in modo da consentirne l'identificabilità e la rintracciabilità.

1.7.1. Controlli di accettazione

Resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali o naturali secondo la bozza delle nuove N.T.C. 2015

Il controllo di accettazione in cantiere ha lo scopo di accertare se gli elementi da mettere in opera abbiano le caratteristiche meccaniche dichiarate dal fabbricante.

Nel caso in cui il fabbricante abbia dichiarato la resistenza media f_{bm} , il controllo sarà effettuato su almeno un campione per ogni 350 m³ di fornitura per elementi di Categoria II, e per ogni 650 m³ per elementi di Categoria I. Ogni campione sarà costituito da n elementi ($n \geq 6$) da sottoporre a prova di compressione.

Dette f_1, f_2, \dots, f_n le resistenze a compressione degli elementi con $f_1 < f_2 < \dots < f_n$; il controllo sul campione si considera positivo se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:

$$(f_1 + f_2 + \dots + f_n) / n \geq f_{bm}$$

$$f_1 \geq 0,80 f_{bm}$$

– dove f_{bm} è la resistenza media a compressione dichiarata dal fabbricante.

Nel caso in cui il fabbricante abbia dichiarato la sola resistenza caratteristica f_{bk} , e non la resistenza media il controllo di accettazione in cantiere sarà effettuato su almeno un campione per ogni 350 m³ di fornitura per elementi di Categoria II, innalzabili a 650 m³ per elementi di Categoria I.

Dette f_1, f_2, \dots, f_6 le resistenze a compressione dei sei elementi con $f_1 < f_2 < \dots < f_6$, il controllo si considera effettuato con esito positivo se risulta verificata la seguente disuguaglianza:

$$f_1 \geq f_{bk}$$

– dove f_{bk} è la resistenza caratteristica a compressione dichiarata dal fabbricante.

Al Direttore dei Lavori spetta l'obbligo di accertarsi e curare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove ai laboratori siano effettivamente quelli prelevati in cantiere con indicazioni precise sulla fornitura e sulla posizione che nella muratura occupa la fornitura medesima.

Le modalità di prova sono riportate nella UNI EN 772-1:2011.

Resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali o naturali secondo le N.T.C. 2008 e la Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del C.S.LL.PP

Il controllo di accettazione deve essere effettuato su almeno tre campioni costituiti ognuno da tre elementi che vanno sottoposti a prova di compressione.

Dette f_1, f_2, f_3 le resistenze a compressione degli elementi con $f_1 < f_2 < f_3$; il controllo sul campione si considera positivo se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:

$$(f_1 + f_2 + f_3)/3 \geq 1,20f_{bk}$$

$$f_1 \geq 0,90 f_{bk}$$

– dove f_{bk} è la resistenza caratteristica a compressione dichiarata dal fabbricante.

1.7.2. Prove di accettazione sulle malte secondo la bozza delle nuove N.T.C. 2015

Al fine di verificare che la resistenza della malta ad uso strutturale rispetti i valori di progetto assunti e specificati nella relazione di calcolo dal progettista si dovranno eseguire le prove di accettazione.

Le prove andranno eseguite in un laboratorio incaricato di effettuare le prove che provvede all'accettazione dei campioni accompagnati dalla lettera di richiesta sottoscritta dal direttore dei lavori. Il laboratorio verifica lo stato dei provini e la documentazione di riferimento ed in caso di anomalie riscontrate sui campioni oppure di mancanza totale o parziale degli strumenti idonei per la identificazione degli stessi, deve sospendere l'esecuzione delle prove e darne notizia al Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove. I laboratori devono conservare i campioni sottoposti a prova per almeno trenta giorni dopo l'emissione dei certificati di prova, in modo da consentirne l'identificabilità e la rintracciabilità.

Le prove sono obbligatorie nel caso di malte a composizione prescritta o prodotte in cantiere, la cui composizione differisce da quelle riportate nella tabella di corrispondenza tra classi di resistenza e composizione in volume delle malte e riportata sopra.

Il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e prevede il campionamento di almeno 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm ogni 350 m³ di muratura realizzata con la stessa miscela nel caso di malte a composizione prescritta o prodotte in cantiere, oppure ogni 700 m³ di muratura realizzata con la stessa miscela nel caso di malte a prestazione garantita, da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti, secondo quanto indicato nella norma UNI EN 1015-11:2007. Il valore medio delle resistenze a compressione misurate deve risultare maggiore o uguale del valore di progetto.

ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO E COSTRUZIONI DI MURATURA

▼ 2.1. Le travi

Le travi in cemento armato si dividono in travi in spessore e travi ricalate o emergenti. Le travi in spessore sono contenute all'interno dello spessore del solaio. Nei calcoli di solito si considera la sezione di tipo rettangolare. La trave ricalata potrebbe assumere anche la forma a T o ad L quando il momento è positivo e la trave risulta tesa nella parte inferiore. Secondo la normativa vigente in fase di progettazione occorre tenere presente che le travi di norma debbono essere ricalate avendo le travi in spessore delle forti limitazioni geometriche, come descritto in seguito.

La scelta del tipo di trave è influenzata non solo da esigenze statiche ma anche dalle scelte architettoniche, tipologiche e funzionali. Ne deriva che fin dalla fase del cosiddetto progetto architettonico occorre prevedere la struttura portante nelle sue linee essenziali redigendo in definitiva un progetto non solo architettonico ma esecutivo tramite il quale poter passare al progetto definitivo senza troppi stravolgimenti all'idea iniziale.

Già in fase di progettazione architettonica dovrà allora essere ben chiaro quale sarà il sistema portante del fabbricato con l'impostazione di massima della carpenteria che consenta di sopportare le azioni sismiche orizzontali in entrambe le direzioni principali dello stesso. Cercare in questa fase forme il più possibile regolari, compatte e simmetriche come da sempre hanno suggerito le varie normative sismiche che si sono susseguite negli anni.

La soluzione ottimale, più teorica che pratica per edifici, sarebbe avere pilastri quadrati e travi ricalate, dette anche ribassate o a stecca, in entrambe le direzioni con pilastri disposti secondo una maglia regolare in entrambe le direzioni principali del fabbricato. La resistenza all'azione sismica è affidata agli elementi più rigidi e quindi all'insieme costituito da travi ricalate e da pilastri con lato maggiore nella direzione di queste. Si dovrà allora aver cura di disporre in pianta i pilastri allungati in entrambe le direzioni del fabbricato e stesso ragionamento anche per le travi ricalate (vedi figura 3).

Luci consigliabili per strutture orizzontali		
<i>Elemento</i>	<i>Solo con carichi verticali [m]</i>	<i>Carichi verticali e azione sismica [m]</i>
Solai	7,00	6,00
Sbalzi	2,50	2,00
Trave ricalata o rialzata	6,00	5,50
Trave in spessore di solaio	5,00	4,50