

Gianni Michele De Gaetanis

MANUALE DI CALCOLO AGLI STATI LIMITE

**STATI LIMITE ALL'ITALIANA
CALCESTRUZZO CON ARMATURA METALLICA**

QUARTA EDIZIONE

AGGIORNATA ALLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL D.M. 17 GENNAIO 2018
E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7 DEL 21 GENNAIO 2019



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni

SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI SECONDO IL METODO DEGLI STATI LIMITE

DIMENSIONAMENTO DI SEZIONI RETTANGOLARI/QUADRATE
SOLLECITATE DA SFORZO NORMALE CENTRATO O ECCENTRICO (PRESSO/TENSO FLESSIONE RETTA),
FLESSIONE RETTA, TORSIONE E TAGLIO



GRAFILL

Gianni Michele De Gaetanis
MANUALE DI CALCOLO AGLI STATI LIMITE

Ed. IV (06-2019)

ISBN 13 978-88-277-0038-9
EAN 9 788827 700389

Collana **Manuali** (239)

De Gaetanis, Gianni Michele <1970->

Manuale di calcolo agli stati limite / Gianni Michele De Gaetanis.

– 4. ed. – Palermo : Grafill, 2019.

(Manuali ; 239)

ISBN 978-88-277-0038-9

1. Strutture in cemento armato - Calcolo.

693.54 CDD-23

SBN Pal0311124

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



ProntoGRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare nel mese di giugno 2019

presso **Tipografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2 – 90142 Palermo

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.



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

PREFAZIONE ALLA I EDIZIONE	p.	1
Avvertenze.....	"	1
Riconoscimenti	"	1
Quadro legislativo.....	"	2
D.M. 14/02/1992.....	"	3
D.M. 9/01/1996.....	"	3
D.M. 16/01/1996.....	"	3
Ord. P.C.M. 20/03/2003, n. 3274.....	"	4
PREFAZIONE ALLA II EDIZIONE	"	5
Avvertenze.....	"	6
Quadro legislativo.....	"	6
Ringraziamenti.....	"	8
PREFAZIONE ALLA III EDIZIONE	"	9
Avvertenze.....	"	9
PREFAZIONE ALLA IV EDIZIONE	"	10
INDICE ANALITICO	"	11
GLOSSARIO	"	17
SIMBOLI UTILIZZATI	"	21
STATI LIMITE: PRINCIPI GENERALI	"	37
Principi generali.....	"	39
Generalità.....	"	39
Metodi di calcolo.....	"	40
Definizione di stato limite.....	"	40
Requisiti.....	"	41
Sicurezza antincendio	"	41
Durabilità	"	42
Robustezza	"	42
Capacità e domanda	"	43
Sicurezza.....	"	43
Stati limite non sismici	"	44
Stati limite sismici	"	44

Combinazioni delle azioni.....	p.	47
Generalità.....	"	47
Verifiche agli SLU.....	"	48
Verifiche agli SLE/SLS.....	"	52
Riferimenti normativi.....	"	54
CARATTERISTICHE DELLE COSTRUZIONI, MODELLI STRUTTURALI E METODI DI ANALISI.....	"	55
Principi generali.....	"	57
Generalità sulle strutture.....	"	57
Strutture dissipative e non.....	"	59
Classi di duttilità.....	"	60
Caratteristiche degli edifici in zona sismica.....	"	62
Requisiti geometrici d'insieme.....	"	62
Altezze massime.....	"	62
Distanze minime.....	"	62
Regolarità.....	"	63
Elementi costruttivi non strutturali.....	"	65
Elementi secondari.....	"	66
Criteri di calcolo.....	"	67
Introduzione.....	"	67
Richiami di geometria vettoriale.....	"	67
Metodo delle deformazioni.....	"	68
Introduzione.....	"	68
Studio dell'elemento trave.....	"	69
Generalizzazione del metodo alle strutture piane e tridimensionali.....	"	75
Elementi finiti: cenni.....	"	83
Oscillazioni: nota teorica.....	"	84
Fattori di comportamento e tipi di analisi.....	"	100
Analisi lineare.....	"	101
Analisi non lineare.....	"	104
Analisi statica.....	"	104
Analisi dinamica.....	"	104
Sovreresistenze.....	"	104
Riferimenti normativi e bibliografici.....	"	106
AZIONI SULLE COSTRUZIONI.....	"	107
Azioni.....	"	109
Definizione di azione.....	"	109
Nozione di valore nominale.....	"	109
Nozione di valore caratteristico.....	"	109
Nozione di periodo di ritorno.....	"	109

Classificazione delle azioni	p. 109
Carichi e sovraccarichi	" 112
Azioni permanenti.....	" 112
Componenti strutturali	" 113
Componenti non strutturali	" 114
Azioni variabili o sovraccarichi	" 115
Sovraccarichi (carichi per destinazione d'uso).....	" 115
Azioni della neve	" 121
Carico neve al suolo.....	" 121
Coefficienti di forma.....	" 125
Effetti locali	" 133
Coefficiente di esposizione.....	" 135
Coefficiente termico.....	" 136
Densità della neve.....	" 136
Azione del vento	" 136
Introduzione.....	" 136
Avvertenze progettuali.....	" 137
L'azione	" 140
Pressione cinetica di riferimento	" 141
Definizione di velocità di riferimento.....	" 142
Coefficiente di esposizione e di topografia.....	" 145
Coefficienti aerodinamici	" 150
Coefficiente dinamico	" 165
Azione della temperatura	" 165
Distribuzioni di temperatura negli elementi strutturali.....	" 166
Situazioni specifiche.....	" 170
Azioni eccezionali.....	" 170
Azione dell'incendio.....	" 171
Definizione di resistenza al fuoco.....	" 171
Definizione di compartimento antincendio.....	" 171
Definizione di capacità di compartimentazione	" 171
Definizione di capacità portante	" 171
Definizione di incendio	" 172
Definizione di incendio localizzato.....	" 172
Incendio convenzionale di progetto.....	" 173
Evoluzione della temperatura.....	" 174
Comportamento meccanico delle strutture.....	" 175
Richieste di prestazione e classi di resistenza	" 175
Verifiche di resistenza	" 176
Azione delle esplosioni: nozione	" 176
Modelli per le azioni.....	" 178
Criteri di progettazione	" 178
Azione degli urti/impatti	" 179

Definizione di urto.....	p. 179
Modelli per l'azione degli urti.....	" 180
Collisioni di veicoli.....	" 181
Azione sismica.....	" 186
Generalità.....	" 186
Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche.....	" 191
$V_{s,eq}$	" 191
Categorie di sottosuolo.....	" 192
Categorie topografiche.....	" 193
Spettri elastici.....	" 193
Definizioni.....	" 193
Reticolo di riferimento.....	" 194
Fattori di calcolo degli spettri.....	" 195
Classe d'uso e periodo di riferimento.....	" 198
Vita nominale di progetto e periodo di ritorno dell'azione sismica.....	" 200
Spettri di risposta elastica.....	" 201
Spostamento orizzontale del terreno.....	" 203
Velocità orizzontale del terreno.....	" 204
Accelerogrammi (cenni).....	" 204
Accelerogrammi simulati.....	" 206
Accelerogrammi naturali (registrati).....	" 206
Spettri di progetto.....	" 206
Fattore di comportamento.....	" 206
Spettri agli SLU e agli SLE/SLO.....	" 207
Obblighi di progettazione sismica e deroghe.....	" 208
Riferimenti normativi e bibliografici.....	" 209
 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	 " 213
Materiali.....	" 215
Calcestruzzo.....	" 215
Generalità.....	" 215
Titolo.....	" 216
SLU.....	" 217
Calcestruzzo non confinato.....	" 217
Calcestruzzo confinato.....	" 221
Parametri di calcolo.....	" 226
Coefficienti di sicurezza.....	" 227
Valori di calcolo agli SLU.....	" 227
SLE/SLS.....	" 228
Parametri di calcolo.....	" 229
Coefficienti di sicurezza.....	" 230
Valori di calcolo agli SLE/SLS.....	" 230

Acciaio	p. 230
Generalità	" 230
Barre	" 231
Reti e tralicci elettrosaldati	" 232
Reti	" 233
Tralicci	" 233
SLU	" 234
Parametri di calcolo	" 237
Coefficienti di sicurezza	" 237
Valori di calcolo agli SLU	" 237
SLE/SLS	" 239
Coefficienti di sicurezza	" 239
Valori di calcolo agli SLE/SLS	" 239
Riferimenti normativi	" 240
STATO LIMITE ULTIMO	" 241
Criteri generali agli SLU non sismici	" 243
Verifiche di resistenza non sismiche agli SLU	" 244
Sforzo normale centrato	" 244
Compressione semplice	" 244
Trazione semplice	" 247
Strutture inflesse	" 248
Flessione retta per sezioni rettangolari/quadrate	" 249
Flessione per sezioni circolari	" 253
Presso/tenso flessione retta	
per sezioni rettangolari/quadrate	" 255
Presso/tenso flessione per sezioni circolari	" 257
Presso/tenso flessione deviata	
per sezioni rettangolari	" 259
Taglio per sezioni rettangolari/quadrate	" 259
Taglio in elementi a sezione costante	" 260
Taglio in elementi a sezione variabile	" 266
Taglio per carichi in prossimità degli appoggi	" 266
Taglio per carichi appesi o indiretti	" 267
Taglio per sezioni circolari	" 267
Verifica a punzonamento	" 268
Torsione	" 268
Torsione pura	" 269
Torsione ed altre sollecitazioni	" 271
Modelli resistenti a traliccio	" 272
Verifiche di resistenza non sismiche	
di elementi snelli agli SLU	" 273
Effetti per pilastri singoli	" 275

Effetti globali negli edifici	p. 276
Verifiche di sicurezza.....	" 276
Verifiche di stabilità.....	" 277
Metodo della colonna modello.....	" 278
Metodo diretto dello stato di equilibrio.....	" 280
Verifiche di duttilità non sismiche agli SLU.....	" 281
Criteri agli SLU sismici.....	" 281
Generalità.....	" 281
Verifiche per gli elementi strutturali (ST)	" 282
Verifiche di resistenza (RES).....	" 282
Verifiche di duttilità (DUT).....	" 282
Verifiche per gli elementi non strutturali (NS):	
verifiche di stabilità (STA).....	" 283
Verifiche per gli impianti (IM):	
verifiche di stabilità (STA).....	" 283
Fattori di sovraresistenza	" 283
Verifiche di resistenza sismiche agli SLU.....	" 283
Elementi strutturali primari in elevazione.....	" 283
Generalità.....	" 283
Travi	" 284
Pilastri.....	" 290
Nodi trave-pilastro	" 295
Elementi non strutturali.....	" 299
Riferimenti normativi e bibliografici.....	" 301
STATI LIMITE DI ESERCIZIO O SERVIZIO	" 303
Criteri generali agli SLE/SLS non sismici	" 305
Tipo di ambiente	" 306
Tipo di armature	" 308
Stato limite di fessurazione	" 308
Stato limite di decompressione	" 310
Stato limite di formazione ed apertura delle fessure	" 310
Stato limite di deformazione	" 313
Approccio senza calcolo delle deformazioni	" 313
Calcolo delle deformazioni	" 314
Stato limite di vibrazione	" 319
Stato limite delle tensioni di esercizio.....	" 320
Calcolo delle tensioni	" 320
Sezioni fessurate e non.....	" 321
Stato limite di fatica	" 321
Criteri agli SLE/SLS sismici	" 321
Generalità.....	" 321
Verifiche per gli elementi strutturali (ST)	" 322

Verifiche di rigidezza (RIG).....	p. 322
Verifiche di resistenza (RES).....	" 323
Verifiche per gli impianti (IM):	
verifiche di funzionamento (FUN).....	" 323
Riferimenti normativi e bibliografici.....	" 324
DETTAGLI ESECUTIVI	" 325
Criteri generali	" 327
Calcestruzzo.....	" 327
Impasto per getti.....	" 327
Durabilità	" 327
Disarmo	" 327
Armature.....	" 328
Ancoraggio	" 328
Ancoraggio senza prescrizioni sismiche	" 328
Ancoraggio con prescrizioni sismiche	" 329
Uncini	" 330
Piegature	" 331
Giunzioni	" 331
Copriferro	" 333
Interferro.....	" 334
Riferimenti normativi.....	" 335
SOLAI	" 337
Solai.....	" 339
Generalità	" 339
Solai misti di c.a. e c.a.p.	
e blocchi forati in laterizio o calcestruzzo	" 340
Caratteristiche dei blocchi	" 340
Limiti dimensionali del solaio.....	" 341
Caratteristiche fisico-meccaniche dei blocchi.....	" 341
Caratteristiche della armatura	" 341
Solai misti di c.a. e c.a.p.	
e blocchi diversi dal laterizio o calcestruzzo.....	" 342
Solai realizzati con l'associazione	
di componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p.....	" 342
Analisi di un solaio mono-direzionale	" 343
Premessa	" 343
Trave continua.....	" 343
Nota teorica	" 343
Effetto dei carichi: condizioni di carico	" 345
Dimensionamento di un solaio monotrave	" 346
Calcolo dei momenti resistenti	" 347

Calcolo del taglio resistente	p. 352
Fasce semipiene e piene	" 354
Nervatura di ripartizione	" 354
Riferimenti normativi e bibliografici.....	" 356
GRAFICI E TABELLE	" 357
Tabelle pesi.....	" 359
Densità volumiche	" 359
Densità superficiali	" 363
Tondini di acciaio	" 364
Caratteristiche geometriche	" 364
Peso tondini.....	" 367
Figure piane: momenti e moduli	" 368
Compressione semplice	" 371
Tabelle per compressione semplice	" 371
Grafici ad "n" variabili in piano.....	" 374
Strutture inflesse.....	" 376
Tabelle q-m per sezioni	
a singolo registro rettangolari/quadrate.....	" 376
Grafico ad "n" variabili per sezioni	
a singolo registro rettangolari/quadrate.....	" 382
Tabelle q-m per sezioni	
a doppio registro rettangolari/quadrate	" 386
Tabelle q ₁ -m per circolari	" 390
Grafici n-m per sezioni	
a singolo registro rettangolari/quadrate.....	" 397
Grafici n-m per sezioni	
a doppio registro rettangolari/quadrate	" 397
Sezioni circolari	" 450
Grafici a "n" variabili per sezioni circolari.....	" 450
Riferimenti normativi.....	" 457
ESEMPI DI CALCOLO	" 459
Esempi applicativi.....	" 461
Analisi delle combinazioni di carico	" 461
Combinazioni agli SLU: stato limite EQU	" 461
Studio dello addendo Q _i	" 461
Studio dello addendo Q ₁	" 462
Studio dello addendo Q.....	" 463
Studio dello addendo G.....	" 464
Studio della azione di progetto F _d	" 465
Combinazioni agli SLE/SLS:	
combinazione quasi permanente	" 467

Definizione degli spettri di risposta elastica.....	p. 467
Sito, periodo di riferimento e	" 467
Sottosuolo	" 468
Definizione di a_g , F_0 e T^*_c e calcolo dei periodi degli spettri	" 469
Calcolo dei vari fattori dello spettro elastico in accelerazione verticale.....	" 470
Calcolo dei vari fattori dello spettro elastico in accelerazione orizzontale.....	" 470
Spettri di risposta.....	" 470
Spettro di risposta elastica in accelerazione per la componente orizzontale.....	" 471
Spettro di risposta elastica in accelerazione per la componente verticale.....	" 471
Spettro di risposta elastica in spostamento delle componenti orizzontali.....	" 472
Dimensionamento di una sezione rettangolare a singolo registro	" 473
Caratteristiche dei materiali.....	" 473
Dimensionamento a flessione semplice retta.....	" 473
Dimensionamento a pressoflessione retta	" 476
Dimensionamento di una sezione rettangolare a doppio registro.....	" 478
Caratteristiche dei materiali.....	" 478
Dimensionamento a flessione semplice retta.....	" 478
Dimensionamento con $\nu = 0.10$	" 478
Dimensionamento con $\nu = 0.20$	" 480
Comparazione dei risultati.....	" 482
Dimensionamento a pressoflessione retta	" 482
Dimensionamento con $\nu = 0.10$	" 482
Dimensionamento con $\nu = 0.20$	" 484
Comparazione dei risultati.....	" 486
Dimensionamento di una sezione circolare.....	" 486
Caratteristiche dei materiali.....	" 486
Dimensionamento a flessione semplice.....	" 487
Dimensionamento a pressoflessione	" 488
Elementi armati a torsione.....	" 489
Sollecitazione di torsione.....	" 489
Calcolo di un telaio in cls.....	" 494
Problema	" 494
Predimensionamento	" 495
Studio della trave continua ABC.....	" 495
Studio del pilastro BE.....	" 497

PREFAZIONE ALLA IV EDIZIONE

Nell'ottica del continuo e costante aggiornamento, il presente manuale recepisce le nuove norme tecniche o, più propriamente, la revisione delle norme.

Il testo tecnico, pubblicato ad una distanza temporale di dieci anni e tre giorni, ripara ad alcuni errori del pregresso testo normativo anche se alcune parti della norma rimangono critiche.

Rispetto alle NTC08, la revisione della norma presenta specifiche caratteristiche e precisamente:

- maggiore importanza alle verifiche di duttilità;
- esplicitazione delle verifiche in campo elastico soprattutto per le fondazioni;
- rivisitazione dei dettagli costruttivi (essendo variato q);
- rivisitazione dei minimi di norma;
- novità in campo geotecnico;
- esplicitazione e variazione dell'approccio sull'esistente.

Con le NTC18 si è operato un ulteriore significativo passo di avvicinamento agli Eurocodici: risulta particolarmente chiaro il quadro tecnico delle verifiche da eseguire in relazione al comportamento strutturale dissipativo o non dissipativo.

Altresì si è ritenuto opportuno integrare la revisione delle norme tecniche con la Circolare Ministeriale n. 7/2019 nonostante la stessa abbia numero imprecisioni e diversi refusi.

Infine, per il calcestruzzo è venuto definitivamente meno il metodo delle tensioni ammissibili.

STATI LIMITE: PRINCIPI GENERALI

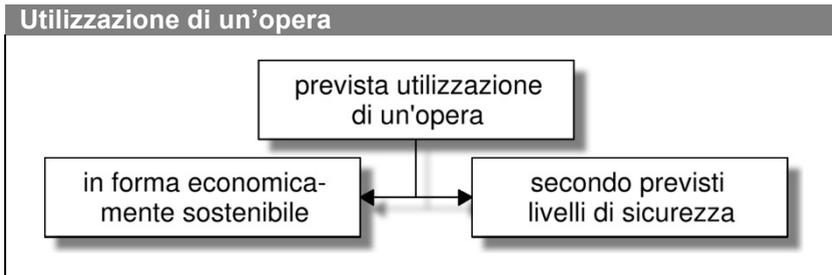


**PRONTO
GRAFILL**

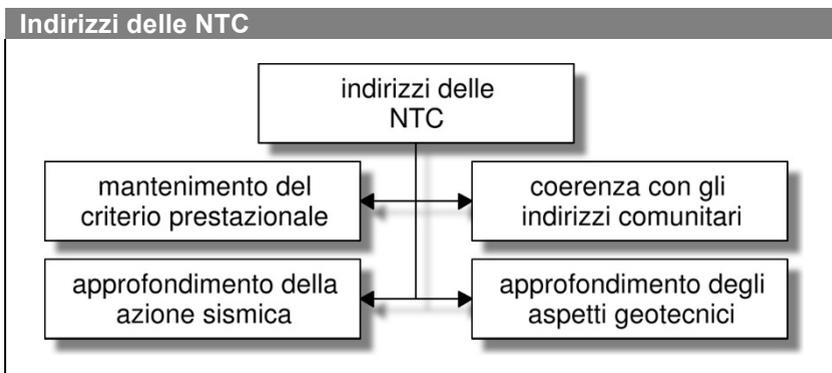
**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

L'evoluzione tecnico-normativa ha ormai consolidato il concetto secondo il quale le strutture devono essere tali da garantire, nel tempo, sia la sicurezza, in termini di caratteristiche meccaniche e di stabilità, sia la durabilità [1].

Per meglio esplicitare il concetto, le opere ed i relativi componenti strutturali ed impiantistici devono garantire sia la sicurezza sia le prestazioni attese: ciò si traduce nella possibilità che, dal concepimento alla progettazione, realizzazione, collaudo e fino alla successiva manutenzione, l'opera sia utilizzata secondo quanto preventivato [2]. Quindi in merito all'utilizzo di un'opera [2]:



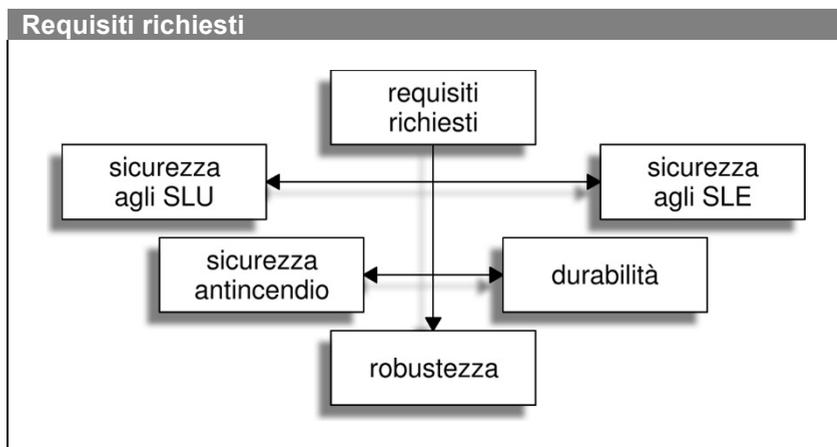
La norma tecnica delinea i modelli di calcolo e analisi nonché i criteri di verifica e le regole di progettazione ed esecuzione in linea con specifici indirizzi. Tali indirizzi sono di seguito specificati e riassunti (secondo l'approccio della C.M. n. 617/2009 – Introduzione – essendo specificato nella nuova C.M. "...<omissis>...nell'aggiornare le Norme non è stato cambiato l'impianto generale...<omissis>...") [3]:



Il riflesso diretto di tali indirizzi si concretizza in un modello di calcolo affidato alla libertà tecnica del progettista, seppur con alcuni vincoli, mentre i diversi modelli di analisi sono veicolati dalla norma in modo molto preciso e più rigido [3].

Un tale approccio definisce una linea guida sulle fasi di verifica, esecuzione e controllo della strutture [3].

Secondo norma, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere una serie di requisiti e precisamente [2]:



Metodi di calcolo

Sulla base del dettato normativo, non è previsto metodo diverso dal metodo di calcolo agli stati limite: in particolare, nella generalità dei casi, la norma fa riferimento al metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego di coefficienti parziali (metodo di primo livello) [4] [5].

Quale riferimento per l'inquadramento generale del problema, nel caso delle murature, argomento non trattato nel presente manuale, il metodo delle tensioni ammissibili risulta ancora in vigore anche se mascherato da un diverso titolo del paragrafo rispetto al pregresso dettato normativo. Il paragrafo in questione è il "§ 4.5.6.4 Verifiche semplificate" che contiene gli stessi elementi di calcolo del metodo alle tensioni ammissibili.

Per le strutture esistenti, invece:

- è possibile considerare livelli di sicurezza diversi da quelli per le strutture di nuova realizzazione ed è anche possibile considerare solo gli SLU (cfr. in seguito) [2];
- se si ricorre al "progetto simulato" si possono valutare i livelli di sicurezza prendendo in esame i codici di calcolo previsti all'epoca del progetto originario [5].

Definizione di stato limite

Secondo norma, "Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle presenti norme" [2].

Gli stati limite si suddividono in due categorie: Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE) o di Servizio (SLS) e il superamento di uno stato limite può essere reversibile o irreversibile [2]:

**CARATTERISTICHE
DELLE COSTRUZIONI,
MODELLI STRUTTURALI
E METODI DI ANALISI**



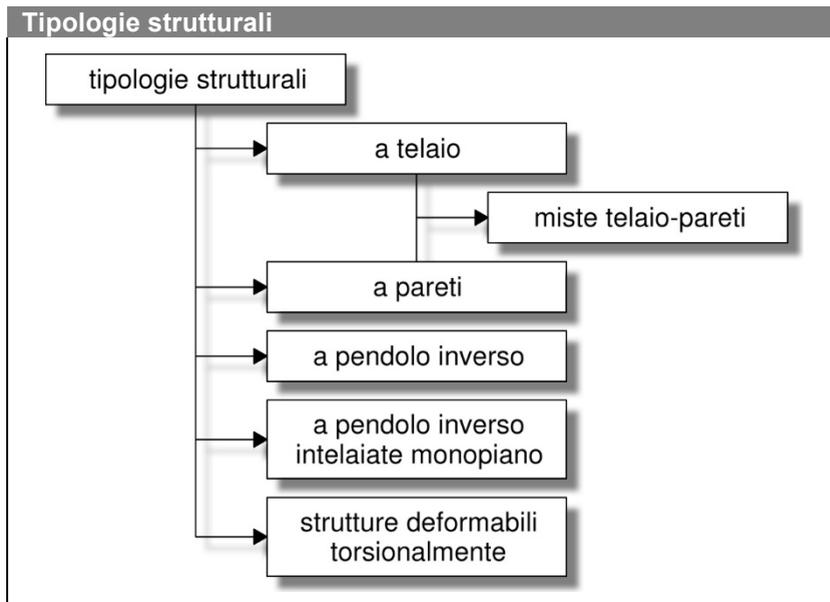
**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Le tipologie strutturali sismo-resistenti di calcestruzzo armato sono classificate in relazione alla resistenza laterale offerta dalle strutture verticali [1] [2].

In dettaglio, la classificazione, che dovrebbe essere eseguita a posteriori o, al limite, per via iterativa ma non a-priori, è condotta considerando le strutture verticali che offrono la maggiore resistenza laterale [2]: nell'ambito della struttura, infatti, è possibile che diverse tipologie di elementi concorrono alla resistenza.

La classificazione normativa è fatta come segue [1]:



In dettaglio, in relazione alle diverse tipologie strutturali:

- relativamente alla resistenza alle azioni, la stessa è affidata principalmente [1]:
 - per le strutture a telaio; sia per le azioni verticali che orizzontali a telai spaziali, caratterizzati da una resistenza a taglio alla base non inferiore al 65% della resistenza a taglio totale;
 - per le strutture a pareti; sia per le azioni verticali che orizzontali alle pareti, caratterizzate da una resistenza a taglio alla base non inferiore al 65% della resistenza a taglio totale (si definisce struttura a pareti estese debolmente armate quella in cui le pareti sono caratterizzate da un'estensione a buona parte del perimetro della pianta strutturale e sono dotate di idonei provvedimenti atti a garantire la continuità strutturale tale da produrre un efficace comportamento scatolare; inoltre, nella direzione orizzontale d'interesse, la struttura deve avere un periodo fondamentale, in condizioni non fessurate e calcolato nell'ipotesi di assenza di rotazioni alla base, non superiore a T_C);

Principi generali

Generalità sulle strutture

- per le strutture miste telaio-pareti; per le azioni verticali ai telai mentre per le azioni orizzontali:
 - se più del 50% è assorbita dai telai si tratta di strutture miste equivalenti a telai;
 - se più del 50% è assorbita dalle pareti si tratta di strutture miste equivalenti a pareti;
- relativamente alla massa [1]:
 - per le strutture a pendolo inverso, almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione e la dissipazione energetica avviene alla base di un singolo elemento strutturale;
 - per le strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano:
 - almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione;
 - i pilastri sono incastrati in sommità alle travi lungo entrambe le direzioni principali dell'edificio;
 - in ogni caso, la forza assiale non può eccedere il 30% della resistenza a compressione della sola sezione di calcestruzzo;
- relativamente al comportamento meccanico torsionale, per strutture deformabili torsionalmente composte da telai e/o pareti, si può procedere alternativamente:
 - verificando che la rigidezza torsionale, ad ogni piano, soddisfa la condizione $r^2 / I_s^2 < 1$ essendo [1] [2]:
 - r il raggio torsionale, per ogni piano, valutato quale rapporto tra la rigidezza torsionale rispetto al centro di rigidezza laterale K_0 e la maggiore tra le rigidezze laterali, tenendo conto dei soli elementi strutturali primari, per strutture a telaio o a pareti (purché snelle e a deformazione prevalentemente flessionale con r può essere valutato, per ogni piano, riferendosi ai momenti d'inerzia flessionali delle sezioni degli elementi verticali primari) [1] [2]; ossia $r = \sqrt{K_0 / K}$ [2];
 - I_s , per ogni piano, è il rapporto fra il momento d'inerzia polare della massa del piano rispetto ad un asse verticale passante per il centro di massa del piano e la massa stessa del piano [1] [2]; in particolare si può utilizzare la formulazione $I_s^2 = (L^2 + B^2) / 12$ [1] [2]:
 - nel caso di piano a pianta rettangolare e distribuzione uniforme delle masse, essendo L e B le dimensioni in pianta del piano [1] [2];
 - nel caso di strutture che rispettano i requisiti di regolarità in pianta, considerando L e B come le dimensioni medie dell'ingombro lungo le due direzioni principali [2];
 - verificando che il rapporto fra il periodo traslazionale disaccoppiato T e il periodo torsionale disaccoppiato T_0 sia minore dell'unità [2]; ossia $\Omega = T / T_0 < 1$ [2] (se $\Omega = T / T_0 > 1$ la risposta è principalmente traslazionale [2]).

AZIONI SULLE COSTRUZIONI



Secondo norma, si definisce azione “ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura” [1]: la nozione non è del tutto chiara ed anzi determina molte incertezze (una forza, ad esempio, è tale anche se non induce stati limite).

In relazione alle azioni è opportuno richiamare alcuni concetti e precisamente

Azioni

Definizione di azione

Dicesi “*valore nominale di una grandezza*” o semplicemente “*valore nominale*” il valore arrotondato o approssimato di una grandezza caratteristica di uno strumento di misura o di un sistema di misura, che serve da guida per un uso idoneo [2].

Nozione di valore nominale

Dicesi “*valore caratteristico al frattile di ordine p*” o semplicemente “*valore caratteristico*” di una grandezza una stima cautelativa del valore che influenza l’insorgere di uno stato limite.

Nozione di valore caratteristico

Alternativamente, con un approccio puramente statistico, il valore caratteristico è la stima di una grandezza che ha la probabilità al p % di essere o non essere superata.

Un valore caratteristico al frattile inferiore del p % presenta una distribuzione di probabilità secondo la quale il p % dei valori risulta inferiore al valore caratteristico.

Analogamente, un valore caratteristico al frattile superiore del p % presenta una distribuzione di probabilità secondo la quale il (1 – p) % dei valori risulta superiore al valore caratteristico.

Dicesi “*periodo di ritorno*”, e si indica con T_R , l’intervallo temporale intercorrente fra due eventi con medesime caratteristiche (o superiori).

Nozione di periodo di ritorno

Più il periodo di ritorno è lungo più l’azione è rara o meno probabile. Il periodo di ritorno è riferito alla probabilità dell’evento, o del suo superamento, attraverso la relazione

$$p = \frac{1}{T_R}$$

La classificazione delle azioni può essere effettuata sulla base [1]:

- del modo di esplicitarsi delle stesse;
- della risposta strutturale;
- secondo la variazione dell’intensità nel tempo.

Classificazione delle azioni

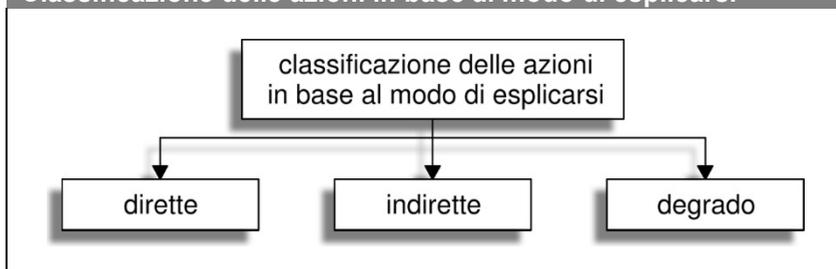
In dettaglio (cfr. schema pagina seguente). Per ognuna delle classi riportate si può effettuare una ulteriore classificazione.

Classificazione delle azioni



In relazione alla classificazione in base al modo di esplicarsi [3]:

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi



In dettaglio, si può esplicitare, con elencazione non esaustiva, di quali carichi e/o forze si tratti [3]:

- **azioni dirette:**
 - forze concentrate;
 - carichi distribuiti;
 - carichi fissi o mobili;
- **indirette:**
 - spostamenti impressi;
 - variazioni di temperatura e di umidità;
 - ritiro;
 - precompressione;
 - cedimenti;
- **degrado:**
 - endogeno, ossia alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
 - esogeno, cioè alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

Per quanto riguarda la classificazione in base alla risposta strutturale, si può considerare lo schema seguente [4] (cfr. schema pagina seguente).

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

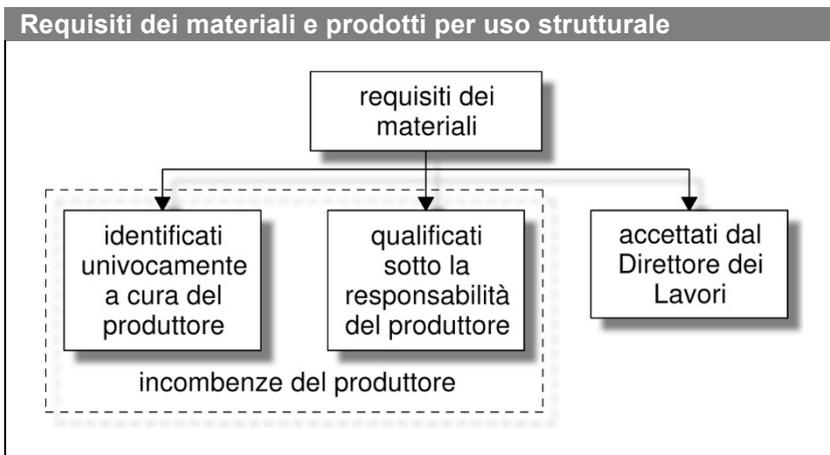


Per una corretta ed attendibile valutazione della sicurezza è necessario che i materiali e i prodotti utilizzati siano chiaramente identificabili in termini di caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche.

Qualunque materiale per uso strutturale deve essere conforme alle condizioni armonizzate fissate dal Regolamento (UE) del 9 marzo 2011, n. 305 [1]. Le NTC definiscono “materiali e prodotti per uso strutturale” quelli che consentono ad un’opera ove siano incorporati in modo permanente di soddisfare in maniera prioritaria il requisito base n. 1, “Resistenza meccanica e stabilità” dell’Allegato 1 del Regolamento UE 305/2011 prima citato [1].

In termini del tutto generali, la fornitura di componenti, sistemi o prodotti per impiego strutturale deve essere accompagnata da manuale di installazione e manutenzione e l’impiego per fini strutturali richiede procedure e prove sperimentali di accettazione [2].

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, secondo norma, devono avere tre requisiti fondamentali: due di essi sono a cura e responsabilità del produttore mentre il terzo è una verifica del Direttore dei Lavori [1]. In particolare è necessario che [1]:

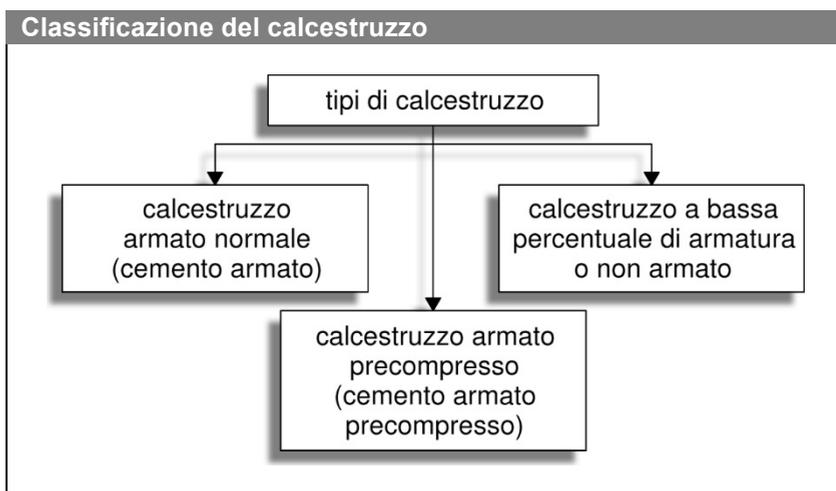


La trattazione corrente riguarda i calcestruzzi di peso normale. Tale materiale, secondo la UNI-EN 206, è “*calcestruzzo avente massa volumica, dopo essiccamento in stufa, maggiore di 2000 kg/m³ ma non maggiore di 2600 kg/m³*” [3].

Le strutture di calcestruzzo, nell’accezione di calcestruzzo armato e con riferimento a calcestruzzi di peso normale, possono essere di tre tipi (cfr. pagina successiva) [4]. In dettaglio si può esplicitare che:

- le strutture di calcestruzzo non armato non contengono alcun tipo di armatura ed il loro impiego è solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese [5];
- le strutture di calcestruzzo a bassa percentuale di armatura contengono armatura in opera [5];

- minore di quella minima prescritta;
- quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 30 daN/m^3 ;
ed il loro impiego è consentito, similmente al punto precedente, solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese [5];
- strutture di calcestruzzo semplicemente armate sono quelle escluse dei punti precedenti.



L'attenzione del presente manuale è rivolta solo ed esclusivamente al calcestruzzo armato normale.

Titolo

Il calcestruzzo per uso armato normale è identificato e/o titolato facendo riferimento alla classe di resistenza: l'identificativo, o titolo o classe di resistenza, è costituito dalla lettera "C" seguita dalle resistenze uniassiali misurate mediante prove su campioni cilindrici e cubici [4].

Ossia, la classificazione è fatta tramite una "sigla tipo" di seguito riportata:

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

in cui al posto di f_{ck} ed R_{ck} sono indicati i valori numerici delle resistenze.

La norma fornisce i valori delle resistenze in MPa [4]: nel presente manuale, visto il retaggio storico dell'ingegnere ad utilizzare l'unità di misura $\text{kg}_{forza}/\text{cm}^2$, si utilizzerà l'unità daN/cm^2 (in prima approssimazione coincidente con il $\text{kg}_{forza}/\text{cm}^2$).

In fase di progettazione, al fine di valutare le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, si deve utilizzare la resistenza caratteristica a compressione su provini cubici R_{ck} : a compressione, le resistenze caratteristica e media, relativa a provini di forma prismatica (cilindrici), ossia f_{ck} e f_{cm} rispettivamente, sono calcolabili secondo le [6]:

STATO LIMITE ULTIMO



**PRONTO
GRAFILL**

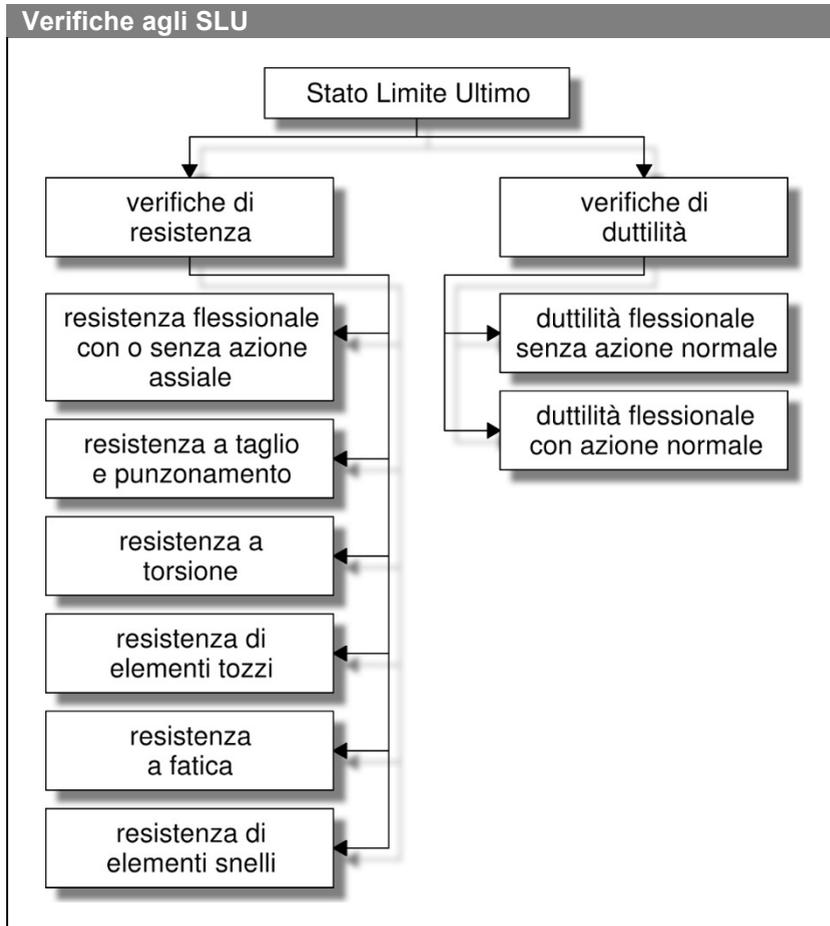
**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

La progettazione di elementi strutturali allo stato limite ultimo si articola in due distinte fasi [1].

Si effettua la progettazione attraverso le verifiche dei diversi stati limite di resistenza e la verifica dello stato limite di duttilità [1].

Riassumendo, secondo norma, è necessario verificare [2] [3]:

**Criteri generali
agli SLU non
sismici**



La progettazione agli stati limite ultimi deve essere effettuata sotto una serie di ipotesi di base e precisamente [4]:

- l'elemento strutturale in progetto deve essere monodimensionale a prevalente sviluppo lineare;
- conservazione delle sezioni piane;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a trazione;

- le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione;
- la posizione dell'asse di calcolo è quella adottata nell'analisi strutturale per la valutazione degli sforzi agenti e si pone nel baricentro della sezione geometrica del solo calcestruzzo.

Tali ipotesi sono tutte da considerare per la progettazione a sforzo normale, flessione e presso/tenso flessione mentre per altri tipi di sollecitazione alcune di esse non sono necessarie.

Ordinariamente, le verifiche di resistenza non riguardano una sola sollecitazione ma è necessario considerare la presenza contemporanea di più di esse.

L'iter e le procedure di calcolo e verifica agli SLU possono essere riassunti secondo il diagramma riportato alla pagina precedente.

Si precisa che l'acciaio considerato nei calcoli, se non diversamente esplicitato, si intende tutto ad aderenza migliorata; inoltre, nei prospetti di progettazione, le regole di calcolo e le regole specifiche per le strutture sono integrate.

Verifiche di resistenza non sismiche agli SLU

Sforzo normale centrato

Compressione semplice

La sollecitazione di compressione è più pericolosa delle altre in quanto la sezione, contemporaneamente in ogni punto, raggiunge il limite di resistenza.

Nel caso di compressione semplice oltre alle verifiche di resistenza sono assolutamente necessarie anche le verifiche di sicurezza e duttilità. La norma prescrive una serie di limitazioni sia geometriche che di armatura e dei dettagli costruttivi generali [5].

Nell'ambito dei pilastri, particolare attenzione deve esser posta agli elementi prevalentemente compressi armati con spirale.

In particolare, come previsto dalla norma, se l'armatura longitudinale è disposta lungo una circonferenza è possibile racchiudere le barre medesime (armatura longitudinale) con una spirale il cui contributo, in termini meccanici e di resistenza, deve essere portato opportunamente in conto [6].

Per i pilastri armati con spirale è necessario, inoltre, rispettare alcune limitazioni sia geometriche che meccaniche.

Progettazione a compressione semplice (pilastri)	
Operazione o procedura	Calcolo
Calcolo armatura longitudinale o della sezione di conglomerato	da calcolo: $A_s \geq \frac{N_{Ed} - A_c f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{oppure} \quad A_c \geq \frac{N_{Ed} - A_s f_{yd}}{f_{cd}}$

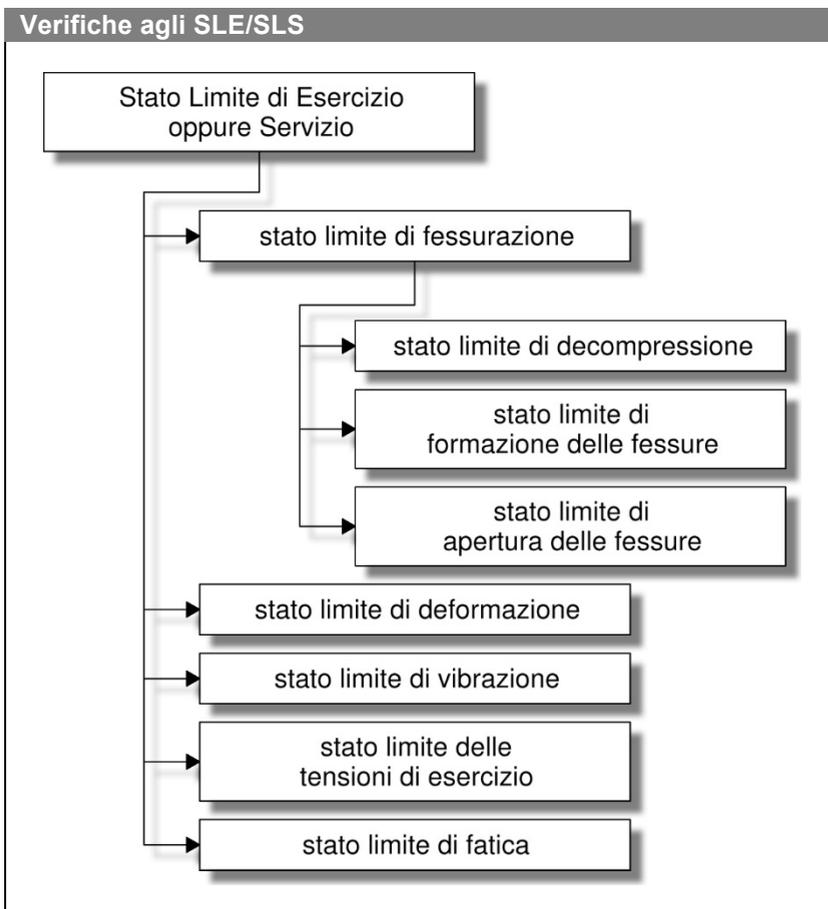
continua

STATI LIMITE DI ESERCIZIO O SERVIZIO

Oltre alla resistenza della struttura è necessario garantirne anche la funzionalità. In questa ottica, gli stati limite di esercizio o di servizio rappresentano lo strumento statistico di controllo di tale caratteristica.

Si possono identificare, sostanzialmente, i seguenti stati limite di servizio [1]:

- stato limite di fessurazione:
 - stato limite di decompressione;
 - stato limite di formazione delle fessure;
 - stato limite di apertura delle fessure;
- stato limite di deformazione;
- stato limite di vibrazione;
- stato limite delle tensioni di esercizio;
- stato limite a fatica (relativamente ai danni che possono compromettere la durabilità).



Prima di passare ad illustrare i metodi di calcolo è necessario un chiarimento sul concetto di tipo di ambiente e sul tipo di armatura.

Precisamente:

Tipo di ambiente

La norma suddivide gli ambienti e classifica le condizioni ambientali in cui può trovarsi una struttura in tre categorie [2].

Gli ambienti o le condizioni ambientali sono funzionali alle soluzioni da adottare per la protezione delle armature metalliche contro la corrosione [2].

Di seguito si riporta un prospetto relativo alla classificazione degli ambienti ed alla codificazione delle condizioni ambientali [3]:

Condizioni ambientali-classe di esposizione			
Condizioni ambientali	Classe di esposizione	Esempi di ambiente	Caratteristiche ambiente
Nessun rischio di corrosione delle armature o attacco al calcestruzzo			
ordinarie	X0	interni di edifici con umidità relativa molto bassa	molto secco
Corrosione delle armature a seguito di carbonatazione del calcestruzzo			
ordinarie	XC1	interni di edifici con umidità relativa bassa	secco
ordinarie	XC2	parti di strutture di contenimento liquidi; fondazioni	bagnato, raramente secco
ordinarie	XC3	interni di edifici con umidità da moderata ad alta; calcestruzzo all'esterno riparato dalla pioggia	umidità moderata
aggressive	XC4	superfici soggette a contatto con acqua non comprese nella classe XC2	ciclicamente secco e bagnato
Corrosione a seguito dell'azione di cloruri (esclusa acqua di mare)			
aggressive	XD1	superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri	umidità moderata
molto aggressive	XD2	piscine; calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri	bagnato, raramente secco

continua

DETTAGLI ESECUTIVI



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Una volta effettuato il dimensionamento degli elementi strutturali è necessario procedere con una serie di controlli e verifiche atte a garantire il corretto funzionamento strutturale dell'elemento.

Oltre a ciò, la struttura, nelle sue parti e complessivamente, deve essere tale che, per tutta la vita e con regolare manutenzione, il degrado non ne pregiudichi le prestazioni [1].

Per ottenere quanto premesso si può procedere [1]:

- attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione;
- in base alle peculiarità del singolo progetto.

Gli impasti devono essere preparati e trasportati in modo da evitare ed escludere:

- la segregazione dei componenti;
- il prematuro inizio della presa al momento del getto o, prima ancora, durante il trasporto.

Il getto deve essere convenientemente compattato e vibrato e la superficie mantenuta umida per almeno tre giorni.

Salvo il ricorso ad additivi e comunque a particolari cautele, non si deve mettere in opera il conglomerato a temperature minori di 0°C.

Al fine di garantire la durabilità delle strutture di calcestruzzo, è necessario eseguire una attenta valutazione [2]:

- dell'esposizione ambientale;
- degli effetti del degrado connessi con l'azione chimico-fisica e quelli legati alla corrosione delle armature;
- degli effetti dei cicli di gelo e disgelo.

In tal senso è necessario definire (in accordo con le Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, e, in assenza di analisi specifiche, UNI EN 206 ed UNI 11104) [2]:

- caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (caratteristiche della miscela e resistenza meccanica);
- modalità e durata della maturazione umida.
- i valori del copriferro;
- eventuali prove da eseguire sui calcestruzzi.

Il disarmo deve essere graduale e realizzato in modo tale da evitare azioni dinamiche sulle strutture. Il getto non deve essere disarmato prima che la resistenza del conglomerato abbia raggiunto il valore necessario in relazione all'impiego della struttura all'atto del disarmo stesso e tenendo anche conto delle altre esigenze progettuali e costruttive (la decisione è rimessa, in ogni caso, al giudizio del direttore dei lavori).

Criteria generali

Calcestruzzo

*Impasto
per getti*

Durabilità

Disarmo

Armature

Ancoraggio

Ancoraggio senza prescrizioni sismiche

Le barre d'acciaio, sia tese che compresse, devono essere convenientemente ancorate e sono oggetto di specifica verifica [3]. In particolare, l'ancoraggio deve essere garantito, con riferimento alle tensioni effettivamente presenti e sotto l'ipotesi di distribuzione uniforme delle tensioni tangenziali (ipotesi assunta nel presente manuale). Quali caratteristiche generali è necessario che:

- le barre tese siano prolungate oltre la sezione nella quale sono soggette alla massima tensione;
- le barre tese siano oltre la sezione a partire dalla quale non sono più considerate o prese in conto.

L'ancoraggio delle barre, includendovi la eventuale interruzione e/o sovrapposizione, deve esser fatto preferibilmente in zona compressa o di minore sollecitazione [4]. La verifica dell'ancoraggio tiene conto:

- dell'effetto d'insieme delle barre [3];
- della eventuale presenza di armature trasversali [3];
- dell'eventuale presenza di uncini terminali (di raggio adeguato) [3];
- della presenza di sollecitazioni di fatica o, comunque di sollecitazioni ripetute (adottando particolari cautele) [3];
- dell'utilizzo di barre di diametro $\varnothing \geq 32$ mm (adottando particolari cautele) [4].

Ancoraggio delle barre e piegature (agli SLU)	
Operazione o procedura	Calcolo
Ancoraggio preferibilmente in zona compressa o di minore sollecitazione oppure in zona tesa o di addensamento di barre	<p>La sollecitazione trasmissibile (ipotesi di distribuzione uniforme delle tensioni) è $N_{ad} = 2\pi l_a r f_{bd}$ da cui:</p> $l_a = \frac{N_{ad}}{2\pi r f_{bd}}$ <p>Considerando la massima sollecitazione associata ad una barra risulta</p> $l_{a,max} = \frac{r f_{yd}}{2 f_{bd}}$
Vincoli normativi	<p>Valori minimi di norma della lunghezza di ancoraggio in assenza di uncini terminali (valori in centimetri):</p> $l_a \geq \max \{15; 20\varnothing_L\}$

Di seguito si riportano due prospetti per le lunghezze massime di ancoraggio (cfr. pagine seguenti): il calcolo è condotto in modo esatto, ossia considerando le cifre decimali risultanti, ma si consiglia al professionista un arrotondamento all'unità successiva.

SOLAI



**PRONTO
GRAFILL**

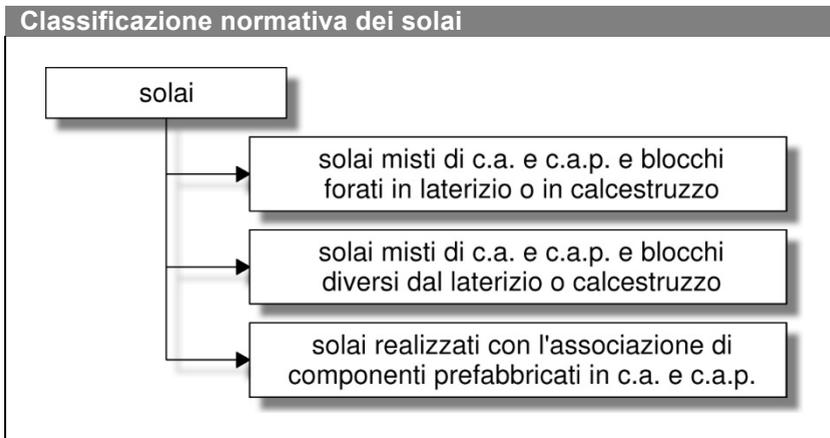
**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Secondo norma, si intendono come solai le strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale [1].

I solai, oltre ai carichi verticali, devono essere adeguatamente rigidi nel loro piano al fine di distribuire le azioni orizzontali alle strutture resistenti verticali [2]: è compito del progettista verificare che materiali, sezioni resistenti e rapporti dimensionali siano coerenti agli obiettivi [2].

Un solaio è, in buona sostanza, un elemento strutturale orizzontale/inclinato formato da c.a. e/o di c.a.p. con elementi o meno in laterizio o di altro materiale aventi, in relazione al tipo di solaio, funzione collaborante.

Si possono identificare, sostanzialmente, le seguenti tipologie di solaio:



In generale, è necessario che la normativa sugli elementi inflessi sia pienamente rispettata ed inoltre è necessario disporre, se necessario, armatura aggiuntiva in campata e agli appoggi.

Come si chiarirà nel seguito, in particolare, agli appoggi è necessario disporre un'armatura inferiore (incorporata o aggiuntiva), perfettamente ancorata, in grado di assorbire l'intero sforzo di taglio.

Il solaio deve [2]:

- essere realizzato con materiali, sezioni resistenti e rapporti dimensionali e di armatura adeguati a garantire la resistenza ai carichi verticali e la rigidezza nel piano;
- presentare deformazioni compatibili con gli elementi strutturali e/o impiantistici con i quali risulta collegato e/o interagente;
- essere strutturato in modo da evitare effetti secondari (si ribadisce il concetto di rigidezza da conseguire attraverso la scelta opportuna dei materiali, idonei quantitativi di acciaio, larghezza delle nervature, idoneo interasse e adeguate solette di completamento).

In dettaglio, quindi, per ognuna delle tipologie di solaio classificate si può esplicitare quanto segue (si noti che si tratta, secondo le indicazioni fornite dalla normativa, di “*norme ulteriori per i solai*”) [1] [2].

Solai misti di c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio o calcestruzzo

In tali strutture, i blocchi forati in laterizio hanno sia funzione di alleggerimento che di aumento della rigidità flessionale del solaio [3]. Per tali solai è necessaria una sotto-classificazione; in particolare si distinguono i solai con [3]:

- blocchi forati in laterizio aventi funzione principale di alleggerimento, ossia blocchi non collaboranti; in tal caso la resistenza allo SLU è affidata alle armature ordinarie e/o di precompressione e al calcestruzzo e, nel caso di perfetta aderenza fra i blocchi di laterizio e i getti di cls, anche alle pareti dei blocchi a contatto con il calcestruzzo medesimo (in questo caso si migliora la rigidità e la resistenza al taglio, rispettivamente, con contributo delle pareti laterali e superiore del laterizio);
- blocchi forati in laterizio aventi funzione statica in collaborazione con il calcestruzzo (i blocchi di laterizio partecipano alla resistenza in modo solidale con gli altri materiali e devono essere messi in conto nelle verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio).

Caratteristiche dei blocchi

I blocchi di laterizio, che abbiano funzione di alleggerimento o collaboranti, devono presentare le seguenti caratteristiche generali [4]:

- la geometria dei blocchi deve essere tale da garantire la formazione delle nervature (da gettare in opera) secondo i limiti stabiliti, ossia non devono essere presenti elementi, risvolti, protuberanze, etc. che impediscano il regolare flusso di calcestruzzo durante il getto;
- nel caso sia richiesta collaborazione meccanica per gli sforzi di taglio, si devono utilizzare elementi monoblocco sfalsati per le file adiacenti, costituenti una nervatura di calcestruzzo.

I blocchi di laterizio, con o senza funzione di alleggerimento/collaboranti, devono avere le seguenti caratteristiche geometriche [4]:

- forma semplice;
- integri e privi di fessure;
- setti rettilinei ed allineati, per lo più continui, con un rapporto spessore/lunghezza il più uniforme possibile;
- le pareti perimetrali (esterne) del blocco, sia orizzontali che verticali, devono presentare uno spessore minimo di 8.00 mm;
- le pareti interne del blocco, sia orizzontali che verticali, devono presentare uno spessore minimo di 7.00 mm;
- le intersezioni delle pareti devono presentare un raggio di raccordo maggiore di 3.00 mm al netto delle tolleranze dimensionali;
- il rapporto fra l'area dei fori e l'area lorda della sezione del blocco deve rispettare la condizione $0.60 + 0.625 \cdot h \leq 0.80$ con h , altezza del blocco, espressa in metri.

GRAFICI E TABELLE



Di seguito si riportano una serie di tabelle da utilizzare per il calcolo dei pesi degli elementi strutturali e delle membrature, semplici o costituite da più elementi.

Tablelle pesi

Nella tabella seguente si riportano i pesi dei vari materiali: si noti che i materiali per i quali si riporta l'angolo di attrito interno si devono intendere sciolti. Quindi [1]:

*Densità
volumiche*

Pesi di materiali (ordine alfabetico) densità volumiche	
Materiale	Peso (daN/m ³)
A	
Abete (legname)	600
Acciaio	7850
Acero (legname)	600
Acqua di mare (chiara)	1010
Acqua dolce (chiara)	981
Alluminio	2700
Alluminio (leghe)	2800
Ardesia	2700
Arenaria	2300
Argilla compatta	2100
Asfalto con sabbia per impermeabilizzazioni	2300
Asfalto per impermeabilizzazioni	2100
B	
Barbabietole (angolo attrito interno: 40°)	550
Basalto	2900
Benzina	740
Bitume con sabbia per impermeabilizzazioni	1300
Bitume per impermeabilizzazioni	1200
Bosso (legname)	1200
Bronzo	8800
C	
Calcere compatto	2600
Calcere tenero	2200
Calce in polvere (angolo attrito interno: 25°)	1000
Calce in sacchi	1000
Carbon fossile allo stato naturale mediamente umido (angolo attrito interno: 45°)	1000
Carbone fossile in pezzi	900
Carbone in legna	320
Carpini (legname)	800
Carta	1000
Cartone	1000

continua

Materiale	Peso (daN/m ³)
Cartone bitumato	1100
Cartone catramato per impermeabilizzazioni	1600
Cartone ondulato	100
Cartongesso in lastre	900
Castagno (legname)	600
Cemento in polvere (angolo attrito interno: 25°)	1400
Cemento in sacchi	1500
Cenere di coke (angolo attrito interno: 25°)	700
Cenere volante (angolo attrito interno: 45°)	1000
Ciliegio (legname)	600
Coke (angolo attrito interno: 45°)	500
Calcestruzzi leggeri (da determinarsi caso per caso)	1400÷2000
Calcestruzzi pesanti (da determinarsi caso per caso)	2800÷5000
Calcestruzzo armato	2500
Calcestruzzo ordinario (e/o precompresso)	2400
Conifere (legname)	400÷600
Crusca e farina (angolo attrito interno: 45°)	500
D	
Dinamite	1500
Diorite (roccia)	2900
Dolomia (roccia)	2600
Duginale (legname)	600
E	
Ebano (legname)	1200
Erba fresca sciolta	400
F	
Faggio (legname)	800
Farina in sacchi	500
Feltri resinati in fibra di vetro	11÷16
Feltri resinati in fibra minerale (rocce feldespatiche)	30
Fibre tessili	1350
Fieno pressato	300
Fieno sciolto	70
Frassino (legname)	800
Frumento (angolo attrito interno: 35°)	760
G	
Gesso (angolo attrito interno: 45°)	1300
Ghiaccio	900
Ghiaia e pietrisco(angolo attrito interno: 30°)	1500
Ghisa	7250
Gneiss (roccia)	2700

continua

ESEMPI DI CALCOLO



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Di seguito si riportano alcuni esempi applicativi. Per essi si è scelto di procedere con difficoltà e/o complessità gradualmente crescenti per cui i primi esempi saranno relativamente semplici mentre quelli finali riguarderanno intere strutture con maggiore grado di complessità.

Esempi applicativi

Si studino le combinazioni di carico, sia allo SLU che agli SLE/SLS, per una generica struttura di un edificio destinato a civili abitazioni. Siano i carichi i seguenti (riferiti ad una porzione larga 1 m di struttura): $G_k = 1200.00$ daN/m, $Q_{k_i,neve} = 80.00$ daN/m, $Q_{k_i,vento} = -55.00$ daN/m (azione di depressione) e $Q_{k_i,sovraccarico} = 200.00$ daN/m.

Analisi delle combinazioni di carico

RISOLUZIONE

Il calcolo viene condotto solo per la combinazione di carico relativa allo stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU) senza che ciò sia limitativo del problema e lasciando al progettista la libertà di calcolare le altre. Risulta quanto di seguito riportato:

Combinazioni agli SLU: stato limite EQU

$$F_d = \sum_{i=1}^2 \gamma_{G_i} G_i + \gamma_{Q_1} Q_{k_1} + \sum_{i=2}^{n_Q} \gamma_{Q_i} \psi_{0i} Q_{k_i}$$

Per l'addendo Q_i si considerano i seguenti coefficienti di combinazione ψ_{0i} . I coefficienti sono differenziati in funzione della natura del carico e/o della destinazione d'uso.

Studio dello addendo Q_i

Coefficiente di combinazione ψ_{0i}			
Tipo carico	Valore carico Q_{k_i} (daN/m)	ψ_{0i}	$\psi_{0i} \cdot Q_{k_i}$ (daN/m)
sovraccarico	200.00	0.70	140.00
neve	80.00	0.50	40.00
vento	- 55.00	0.60	- 33.00

Ciò fatto si può passare a studiare la sommatoria Q_i .

I valori che può assumere il coefficiente per le azioni sono due e precisamente $\gamma_{Q_i} = 0.00$ se il contributo è favorevole alla sicurezza e $\gamma_{Q_i} = 1.50$ se il contributo è sfavorevole alla sicurezza.

I coefficienti sono definiti in modo indipendente per ogni carico per cui il contributo favorevole di uno di essi non deve, necessariamente, essere portato in conto solo con il contributo favorevole di un altro ma deve essere considerato anche con il contributo sfavorevole.

Come evidenziato dalla sommatoria, il carico Q_i è definito considerando $n_Q - 1$ carichi variabili, ossia escludendo l'azione variabile di base (l'indice i della sommatoria varia da 2 a n_Q).

Il numero totale di combinazioni, per ogni azione variabile di accompagnamento, è $2^{n_Q-1} = 2^{3-1} = 2^2 = 4$.

Quindi, considerando ognuno dei carichi in esame quale dominante, i rimanenti carichi possono essere combinati come di seguito illustrato: si noti che il calcolo è del tutto generale ed esula da considerazioni di altro carattere che, se oculatamente utilizzate, potrebbero semplificare di qualche passaggio l'intera procedura.

Coefficiente di combinazione delle azioni: combinazioni			
Combinazione	Coefficienti γ_{Qi} per i carichi Q_i		
	sovraccarico	neve	vento
1		0.00	0.00
2	azione variabile di base	0.00	1.50
3		1.50	0.00
4		1.50	1.50
5	0.00	azione variabile di base	0.00
6	0.00		1.50
7	1.50		0.00
8	1.50		1.50
9	0.00	0.00	azione variabile di base
10	0.00	1.50	
11	1.50	0.00	
12	1.50	1.50	

Considerando i prodotti fra i vari fattori risulta:

Coefficiente di combinazione delle azioni: combinazioni				
Combinazione	Coefficienti γ_{Qi} per i carichi Q_i			Q_i (daN/m)
	Sovracc.	neve	vento	
1		0.00	0.00	0.00
2	azione variabile di base	0.00	-49.50	-49.50
3		60.00	0.00	60.00
4		60.00	-49.50	10.50
5	0.00	azione variabile di base	0.00	0.00
6	0.00		-49.50	-49.50
7	210.00		0.00	210.00
8	210.00		-49.50	160.50
9	0.00	0.00	azione variabile di base	0.00
10	0.00	60.00		60.00
11	210.00	0.00		210.00
12	210.00	60.00		270.00

Studio dello addendo Q_1

Per l'addendo Q_1 si considerano solo i coefficienti delle azioni e precisamente i coefficienti $\gamma_{Q1} = 0.00$ se il contributo è favorevole alla sicurezza e $\gamma_{Q1} = 1.50$ se il contributo è sfavorevole alla sicurezza. Per ognuno dei carichi in questione, considerati a rotazione di base, risulta:

GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE SLU 4



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Note sul software incluso (SLU 4)

Il software esegue il calcolo degli elementi strutturali secondo il metodo degli stati limite e il dimensionamento di sezioni rettangolari/quadrate sollecitate da sforzo normale centrato o eccentrico (presso/tenso flessione retta), flessione retta, torsione e taglio e, inoltre:

- fornisce a video, per le relative sollecitazioni, i campi di interazione e la curvatura della sezione con l'identificazione della posizione dell'asse neutro;
- fornisce stampe grafiche di dettaglio sui legami costitutivi e sui campi di interazione;
- permette la stampa, utilizzabile quale allegato ad una generica relazione di calcolo, dei dati immessi e dei risultati del calcolo.

Requisiti hardware e software

Processore da 2.00 GHz; MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore); MS .Net Framework 4+; 250 MB liberi sull'HDD; 2 GB di RAM; Risoluzione grafica consigliata pixel 1152x864; Accesso ad internet e browser web.

Download del software e richiesta della password di attivazione

1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0038_9.php

- 2) Inserire i codici "A" e "B" (vedi ultima pagina del volume) e cliccare **[Continua]**.
- 3) **Per utenti registrati** su www.grafill.it: inserire i dati di accesso e cliccare **[Accedi]**, accettare la licenza d'uso e cliccare **[Continua]**.
- 4) **Per utenti non registrati** su www.grafill.it: cliccare su **[Iscriviti]**, compilare il form di registrazione e cliccare **[Iscriviti]**, accettare la licenza d'uso e cliccare **[Continua]**.
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all'indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

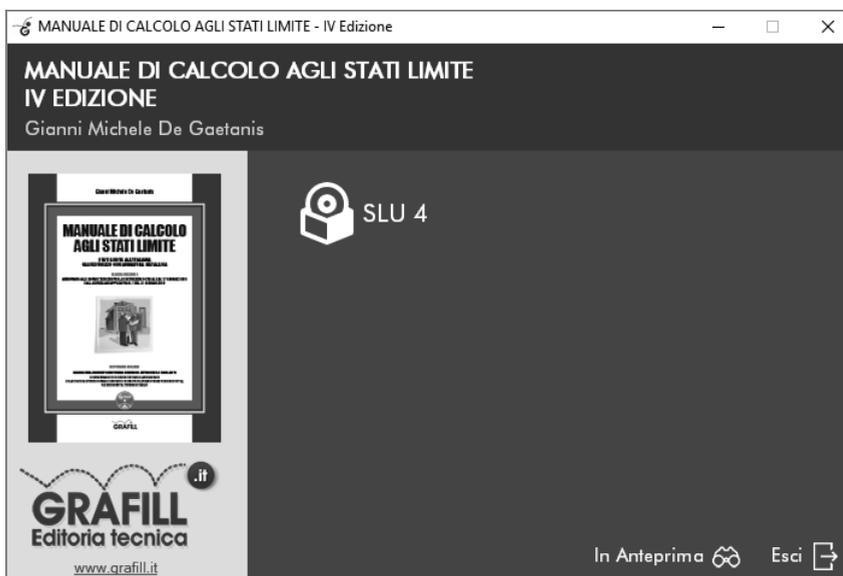
Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software (file *.exe) cliccando sul link ricevuto per e-mail.
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-8207-0039-6.exe** e seguire le richieste della procedura fino al suo completamento.
- 3) Avviare il software:

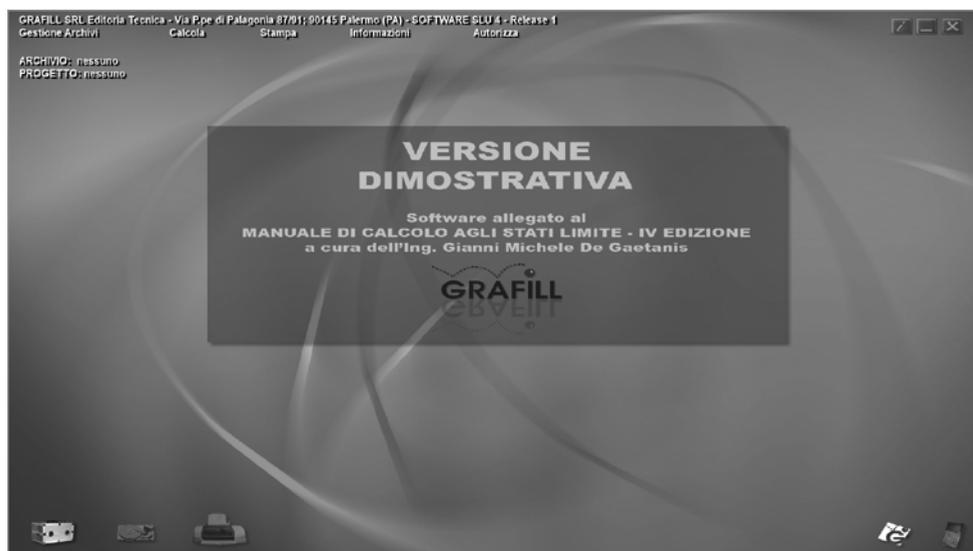
Per utenti MS Windows Vista/7/8: **[Start]** > **[Tutti i programmi]** > **[Grafill]**
> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (cartella)
> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: **[Start]** > **[Tutte le app]** > **[Grafill]**
> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (icona di avvio)

- 4) Cliccare **[SLU 4]** sulla finestra Starter di seguito riportata:



- 5) Si avvierà il software **SLU 4** in versione dimostrativa:



- 6) Per attivare **SLU 4** cliccare su **[Autorizza]** (o sull'icona Grafill in basso e destra) e compilare la maschera di registrazione; codice e password sono da richiedere con le modalità descritte al paragrafo precedente.

GUIDA ALL'UTILIZZO DEL SOFTWARE SLU 4



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

Schermata principale del software SLU 4

Eseguita la procedura di installazione e di attivazione con le modalità indicate al capitolo precedente, avviare il software dal seguente percorso:

Per utenti MS Windows Vista/7/8: **[Start]** > **[Tutti i programmi]** > **[Grafill]**

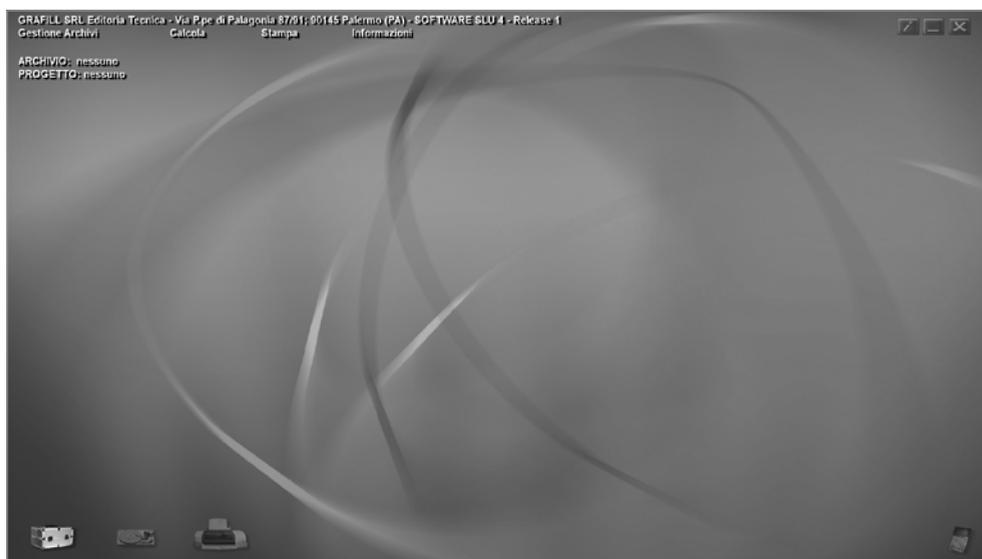
> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (cartella)

> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: **[Start]** > **[Tutte le app]** > **[Grafill]**

> **[Manuale di Calcolo Agli Stati Limite IV Ed]** (icona di avvio)

La schermata principale di **SLU 4** è la seguente:



Nel software già attivato il menu **[Autorizza]** e la relativa icona sono disattivati.

Tasti ad accesso rapido



[Valigetta chiusa]: consente di attivare la procedura di apri archivio/nuovo archivio



[Valigetta aperta]: indica che l'archivio corrente non è stato salvato



[Hard Disk]: salva un archivio con il nome corrente o se si tratta di un nuovo archivio richiede il percorso ed il nome dello stesso (archivio)



[Stampante]: permette la stampa (senza elementi grafici) dei dati di calcolo e dei risultati del calcolo



[Calcolatrice]: consente l'avvio del calcolo sequenziale automatico



Icone di informazioni, servizio (riduzione ad icona) e uscita

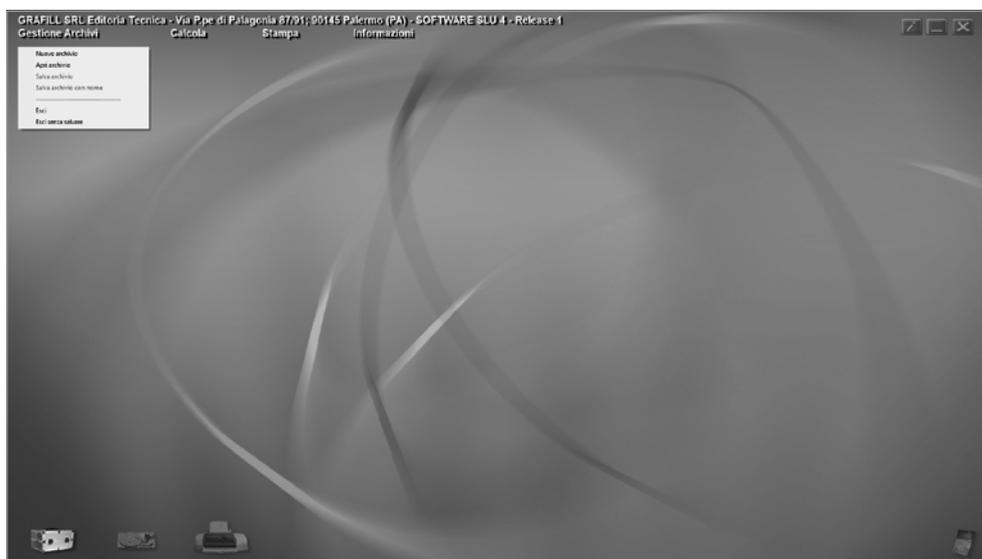
I menu a tendina

Menu [Gestione Archivi]

Riporta le procedure ed i comandi di gestione file ed archivi, alcune delle quali sono eseguibili anche dalle icone ad accesso rapido.

Il menu [Gestione Archivi] riporta le seguenti voci:

- *[Nuovo archivio]*
- *[Apri archivio]*
- *[Salva archivio]*
- *[Salva archivio con nome]*
- *[Esci]*
- *[Esci senza salvare]*



Se nessun archivio è stato ancora aperto alcune delle voci del menu sono inibite, come pure alcuni tasti ad accesso rapido, e non possono essere utilizzati i relativi comandi.

