Marco Boscolo Bielo

L'intelligenza artificiale nei calcoli strutturali

Guida pratica introduttiva per tecnici del settore edilizio

LEGIS
TECNICA

Pareti di vetro cingono l'uomo
in spazi sempre più esigui
ov'egli crede di non essere cieco soltanto perché vede.

Marco Boscolo Bielo

LEGIS © è un marchio registrato di Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

© Copyright Legislazione Tecnica 2026
La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

ISBN: 978-88-6219-395-5
Finito di stampare nel mese di novembre 2026 da
LOGO SRL
Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

www.legis.it
Servizio Clienti
Tel. 06/5921743
e-mail: servizio.clienti@legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

AVVERTENZE AL LETTORE

L' Intelligenza Artificiale è uno strumento informatico *interattivo, non deterministico e adattivo*. È *interattivo* perché risponde agli input dell'utente fornendo una serie di risposte in tempo reale. *Non è deterministico* in quanto le risposte (output) possono variare in funzione di una molteplicità di fattori basati fondamentalmente su una logica probabilistica, ovvero non vale il principio logico: "*se A, allora sicuramente B*", bensì "*se A, probabilmente B*". Questa probabilità di risposta viene "*pescata in rete*", ovvero attingendo all'enorme mole di dati presenti in un database, attraverso una serie di processi che autocorreggono e approssimano sempre più le risposte. In questo senso l'Intelligenza Artificiale è anche *adattiva*.
Il *meccanismo di adattamento* si basa su alcuni punti fondamentali, tra i quali:

- *apprendimento dai dati*: il sistema modifica i propri parametri interni quando riceve nuove informazioni, migliorando la precisione nel tempo;
- *correzione degli errori*: attraverso i feedback, l'algoritmo si autocorregge per non ripetere lo stesso errore in futuro;
- *personalizzazione dei contenuti*: l'Intelligenza Artificiale profila l'utente in tempo reale per modificare l'interfaccia, i suggerimenti e le risposte, in base alle abitudini riscontrate.

L'ultimo aspetto è da tenere in sempre in considerazione poiché, in alcuni casi, potrebbe essere controproducente, in quanto tendente ad assecondare il "*pensiero*" e "*le abitudini*" dell'utente.
In base a tutte le considerazioni fatte sopra risulta che, l'output dell'IA, può variare da utente a utente e che, utilizzando via via la "*vostra IA*", otterrete una sorta di "*personalizzazione*" del comportamento.
La cosa più importante riguarda, però, la modalità di immissione delle richieste (prompting) perché è fondamentale valutiate bene *cosa* chiedere e *come* chiedere.
Non scoraggiatevi, l'utilizzo del presente testo potrà indirizzarvi su come utilizzare e "*addestrare*" la vostra IA.

PRESENTAZIONE

Il volume illustra come il progettista può interfacciarsi e utilizzare l'Intelligenza Artificiale (IA) nella progettazione e nel calcolo strutturale partendo dal presupposto che il lettore non abbia alcuna conoscenza di linguaggi informatici e codici di programmazione.
L'opera offre un percorso pratico basato su IA Gemini, la risorsa gratuita sviluppata da Google, proponendo una vasta serie di esempi di calcolo strutturale tra i più diffusi. Ogni esercizio viene svolto dapprima "*manualmente*" e, contestualmente, con l'ausilio dell'IA, guidando il lettore verso un utilizzo consapevole della tecnologia. Attraverso applicazioni pratiche guidate, il libro evidenzia le potenzialità dello strumento verificandone costantemente i risultati.
Il manuale non si propone come un ricettario di formule, né come una guida cieca all'automazione. Al contrario, attraverso 25 capitoli operativi, viene sviscerato il comportamento dell'IA applicato a scenari strutturali reali e diversificati: dalle classiche verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Esercizio del cemento armato, dell'acciaio e del legno, fino al consolidamento delle murature con interventi locali e di analisi sismica di telai.
Il filo conduttore di ogni capitolo segue una struttura speculare e rigorosa:

1. **impostazione teorica e manuale**: sviluppo analitico del problema e calcolo dei parametri di verifica secondo le prescrizioni delle NTC 2018, degli Eurocodici e/o altre normative di comprovata validità.
2. **interazione con l'IA (Prompting):** sottomissione del problema alla macchina attraverso richieste testuali, tabelle normative o schemi grafici eseguiti anche a mano libera, immessi direttamente nel prompt comandi di navigazione.
3. **confronto critico dei risultati**: analisi puntuale degli output emessi dall'IA, evidenziando le straordinarie convergenze numeriche ma anche i tipici "*bug logici*", le approssimazioni o le allucinazioni normative in cui l'algoritmo può incorrere.

A tale scopo vengono forniti numerosi suggerimenti per un corretto processo di immissione dei dati per la valutazione critica degli output.
La differenza fondamentale dell'utilizzo dell'IA rispetto a software specializzati, che fondamentalmente svolgono lo stesso ruolo di automazione del calcolo, è che, nel caso dell'IA non occorre conoscere un preciso meccanismo di immissione dei dati legato al processore o al programma che si utilizza, ma il linguaggio quotidiano ordinario. E ciò può essere fatto anche a livello di comandi vocali.
Beninteso, solo il possesso di solide basi teoriche e la conoscenza profonda della materia consentono di governare le risorse di IA nelle modalità descritte, scovandone eventuali errori e/o approssimazioni. Pertanto, il corretto utilizzo di Gemini, permette al progettista di disporre di un potente assistente digitale gratuito per ottimizzare il flusso di lavoro quotidiano, affrontando le soluzioni progettuali con maggiore rapidità e con i necessari criteri di verifica.
Le prospettive future indicano che il confronto tra operatività umana e IA sia ormai inevitabile. Questo cambiamento coinvolgerà un'ampia serie di professionalità, non ultime le professioni intellettuali che – come suggerisce la consonanza stessa tra i termini "*intelligenza*" e "*intellettuale*" – dovranno convivere in stretto rapporto. È bene, dunque, avviare una corretta iniziazione verso questo futuro.

L'Autore, Marco Boscolo Bielo

INDICE SOMMARIO

AVVERTENZE AL LETTORE 3

PRESENTAZIONE 4

CAPITOLO 1 - APPROCCIO AL CALCOLO STRUTTURALE CON UTILIZZO DI IA 15
1.1 Il "*caso zero*" 15
1.2 Osservazioni al "*caso zero*" 25
1.3 Il "*prompting*" 27

CAPITOLO 2 – VERIFICHE A FLESSIONE RETTA PER ELEMENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO 29
2.1 Dati generali 29
2.1.1 Geometria della sezione 29
2.1.2 Resistenze dei materiali 30
2.2 Principi teorici 30
2.2.1 Algoritmi generali 30
2.2.2 Condizione di resistenza 31
2.2.3 Condizione di duttilità 31
2.2.4 Regole di dettaglio 32
2.2.4.1 Condizioni non sismiche 32
2.2.4.2 Condizioni sismiche 32
2.3 Applicazione manuale 33
2.3.1 Testo del problema 33
2.3.2 Resistenze dei materiali 33
2.3.3 Determinazione del momento resistente 34
2.3.4 Verifica di resistenza a flessione 34
2.3.5 Verifica di duttilità 34
2.3.6 Verifica delle regole di dettaglio 34
2.3.6.1 Verifica per condizioni non sismiche 34
2.3.6.2 Verifica per condizioni sismiche 35
2.4 Applicazione con IA 36

CAPITOLO 3 - VERIFICA A PRESSO/TENSOFLESSIONE RETTA PER ELEMENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO 41
3.1 Dati generali 41
3.1.1 Geometria della sezione 41
3.1.2 Proprietà dei materiali 42
3.2 Principi teorici 43
3.2.1 Algoritmi generali 43
3.2.2 Condizione di resistenza 45
3.2.3 Condizione di validità per la sezione parzializzata 45
3.2.4 Regole di dettaglio 46

3.3 Applicazione manuale 46
3.3.1 Testo del problema 46
3.3.2 Resistenze dei materiali 46
3.3.3 Condizioni di applicabilità per sezione parzializzata 47
3.3.4 Determinazione del momento resistente 48
3.3.4.1 Ricerca dell'asse neutro 48
3.3.4.2 Momento resistente 49
3.3.5 Verifica di resistenza 49
3.3.6 Verifica delle regole di dettaglio 49
3.3.6.1 Verifica per condizioni non sismiche 49
3.3.6.2 Verifica per condizioni sismiche 50
3.4 Applicazione con IA 51

CAPITOLO 4 - VERIFICHE A TAGLIO PER ELEMENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO 56
4.1 Dati generali 56
4.1.1 Geometria della sezione 56
4.1.2 Proprietà dei materiali 57
4.2 Principi teorici 57
4.2.1 Lo schema del traliccio di Mörsch 57
4.2.2 Resistenza a taglio compressione 58
4.2.3 Resistenza a taglio trazione 61
4.2.4 Condizioni di verifica 63
4.2.5 Osservazioni 63
4.2.6 Armature minime 65
4.3 Applicazione manuale 65
4.3.1 Testo del problema 65
4.3.2 Resistenze dei materiali 66
4.3.3 Ricerca del valore di resistenza a taglio V_{Rd} 66
4.3.4 Verifica 68
4.3.5 Armature minime 69
4.4 Applicazione con IA 69

CAPITOLO 5 - VERIFICHE A TORSIONE E TAGLIO-TORSIONE PER ELEMENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO 76
5.1 Dati generali 76
5.1.1 Geometria della sezione 76
5.1.2 Proprietà dei materiali 77
5.2 Principi teorici 77
5.2.1 Modello di comportamento secondo il traliccio di Rausch 77
5.2.2 Resistenza delle bielle di calcestruzzo 78
5.2.3 Resistenza della staffatura 79
5.2.4 Resistenza delle barre longitudinali 79
5.2.5 Resistenza a torsione 80

5.2.6 Verifica a torsione 80
5.2.7 Osservazioni 80
5.2.8 Verifica a torsione e taglio 81
5.3 Applicazione manuale 81
5.3.1 Testo del problema 81
5.3.2 Resistenze dei materiali 82
5.3.3 Determinazione della resistenza a torsione pura 82
5.3.4 Verifica a torsione pura 83
5.3.5 Osservazioni 83
5.3.5.1 Determinazione della resistenza delle bielle di calcestruzzo per valori notevoli 83
5.3.5.2 Determinazione del valore di resistenza delle armature per valori notevoli 84
5.3.6 Controllo armature minime a torsione 85
5.3.7 Verifica a torsione e taglio 85
5.4 Applicazione con IA (torsione pura) 86
5.5 Applicazione con IA (taglio-torsione) 92

CAPITOLO 6 - VERIFICHE A COMPRESSIONE SU PILASTRI IN CALCESTRUZZO ARMATO 94
6.1 Dati generali 94
6.1.1 Geometria della sezione 94
6.1.2 Proprietà dei materiali 95
6.2 Principi teorici 95
6.2.1 Algoritmi generali 95
6.2.2 Condizione di resistenza 95
6.2.3 Condizione di stabilità 96
6.2.4 Luci libere di inflessione 96
6.2.5 Regole di dettaglio 97
6.2.5.1 Condizioni "*non sismiche*" 97
6.2.5.2 Condizioni "*sismiche*" 97
6.3 Applicazione manuale 98
6.3.1 Testo del problema 98
6.3.2 Resistenze dei materiali 98
6.3.3 Verifica della condizione di stabilità 99
6.3.4 Determinazione della capacità portante 99
6.3.5 Verifica di capacità 99
6.3.6 Verifiche di dettaglio 100
6.3.6.1 Condizioni "*non sismiche*" 100
6.3.6.2 Condizioni "*sismiche*" 101
6.4 Applicazione con IA 101

CAPITOLO 7 - VERIFICHE TENSIONALI NELLE TRAVI INFLESSE ALLO SLE 109
7.1 Dati generali 109
7.1.1 Geometria della sezione 109
7.1.2 Proprietà dei materiali 110

7.2 Principi teorici 110
7.2.1 Algoritmi generali 110
7.2.2 Ricerca dell'asse neutro 111
7.2.3 Determinazione dello stato tensionale massimo 112
7.2.4 Verifiche 112
7.3 Applicazione manuale 113
7.3.1 Testo del problema 113
7.3.2 Resistenze dei materiali 114
7.3.3 Determinazione dello stato tensionale massimo 114
7.3.3.1 Ricerca dell'asse neutro 114
7.3.3.2 Determinazione delle sollecitazioni massime 114
7.3.3.3 Determinazione dello stato tensionale massimo 115
7.3.4 Verifiche 116
7.4 Applicazione con IA 116

CAPITOLO 8 - VERIFICHE A TRAZIONE PARALLELA ALLE FIBRE NEGLI ELEMENTI IN LEGNO(SLU) 119
8.1 Algoritmi generali 119
8.2 Applicazione manuale 119
8.2.1 Testo del problema 119
8.2.2 Determinazione di k_{mod} 120
8.2.3 Determinazione di k_h 120
8.2.4 Determinazione di γ_M 120
8.2.5 Determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura 120
8.2.6 Verifica di sezione generica piena 121
8.2.7 Verifica di sezione nel giunto (senza eccentricità) 121
8.3 Applicazione con IA 122

CAPITOLO 9 - VERIFICHE A COMPRESSIONE PARALLELA ALLE FIBRE (SLU) PER ELEMENTI LIGNEI TOZZI 125
9.1 Algoritmi generali 125
9.2 Applicazione manuale per elementi tozzi 126
9.2.1 Testo del problema 126
9.2.2 Determinazione di k_{mod} 126
9.2.3 Determinazione di γ_M 127
9.2.4 Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura 127
9.2.5 Valutazione della snellezza 127
9.2.6 Verifica tensionale 128
9.3 Applicazione con IA 128

CAPITOLO 10 - INSTABILITÀ PER CARICO DI PUNTA NEGLI ELEMENTI IN LEGNO 132
10.1 Algoritmi generali 132
10.2 Applicazione manuale 133

10.2.1 Testo del problema 133
10.2.2 Determinazione di k_{mod} 133
10.2.3 Determinazione di γ_M 133
10.2.4 Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura 133
10.2.5 Valutazione della snellezza e dei coefficienti di instabilità 133
10.2.6 Verifiche 134
10.3 Applicazione con IA 135

CAPITOLO 11 - VERIFICHE A FLESSIONE PER ELEMENTI IN LEGNO 138
11.1 Algoritmi generali per SLU 138
11.1.1 Flessione deviata senza instabilità 138
11.1.2 Flessione retta senza instabilità 139
11.1.3 Flessione con instabilità flesso-torsionale 139
11.2 Applicazione manuale senza instabilità flesso torsionale 142
11.2.1 Testo del problema 142
11.2.2 Determinazione di k_{mod} 142
11.2.3 Determinazione di γ_M 142
11.2.4 Determinazione di k_h 142
11.2.5 Determinazione delle tensioni resistenti a flessione 143
11.2.6 Verifica 144
11.3 Applicazione con IA (flessione deviata stabile) 144
11.4 Applicazione con IA (flessione instabile) 146
11.5 Verifiche per SLE 152
11.5.1 Algoritmi generali 152
11.6 Calcolo manuale per SLE 155
11.6.1 Testo del problema 155
11.6.2 Determinazione di k_{def} 155
11.6.3 Determinazione dei moduli elastici 155
11.6.4 Determinazione del coefficiente di combinazione dei carichi 155
11.6.5 Determinazione della freccia istantanea del carico variabile 156
11.6.6 Determinazione della freccia finale del carico variabile 156
11.6.7 Verifica della freccia finale del carico variabile 156
11.6.8 Determinazione della freccia istantanea dei carichi permanenti 156
11.6.9 Determinazione della freccia netta finale dei carichi permanenti + variabili 156
11.6.10 Verifica della freccia netta finale dei carichi permanenti + variabili 156
11.7 Applicazione con IA per verifiche allo SLE 157

CAPITOLO 12 - VERIFICHE A TAGLIO E TORSIONE PER GLI ELEMENTI IN LEGNO 159
12.1 Algoritmi generali per verifiche a taglio allo SLU 159
12.2 Algoritmi generali per verifiche a torsione allo SLU 160
12.3 Algoritmi generali per verifiche a taglio-torsione allo SLU 161
12.4 Applicazione manuale per verifica a taglio 161
12.4.1 Testo del problema 161

12.4.2 Determinazione di k_{mod} 161
12.4.3 Determinazione di γ_M 161
12.4.4 Determinazione della resistenza 161
12.4.5 Determinazione di k_{cr} 162
12.4.6 Determinazione delle tensioni agenti 162
12.4.7 Verifica 162
12.5 Utilizzo di IA per verifica a taglio 162
12.6 Applicazione manuale per verifica a torsione 165
12.6.1 Testo del problema 165
12.6.2 Determinazione delle tensioni agenti 165
12.6.3 Verifica 166
12.7 Utilizzo di IA per verifica a torsione 166
12.8 Applicazione manuale per verifica a taglio-torsione 168
12.8.1 Testo del problema 168
12.8.2 Determinazione delle tensioni agenti di taglio 168
12.8.3 Determinazione delle tensioni agenti di torsione 168
12.8.4 Verifica 168
12.9 Utilizzo di IA per verifica a taglio-torsione 169

CAPITOLO 13 - VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE PER ELEMENTI IN LEGNO 171
13.1 Algoritmi generali 171
13.1.1 Pressoflessione stabile (SLU) 171
13.1.2 Pressoflessione deviata instabile (SLU) 172
13.1.3 Pressoflessione retta instabile (SLU) 173
13.2 Applicazione manuale per verifica di colonna a pressoflessione instabile 173
13.2.1 Testo del problema 173
13.2.2 Determinazione di k_{mod} 173
13.2.3 Determinazione di γ_M 173
13.2.4 Determinazione delle resistenze 173
13.2.5 Determinazione delle tensioni agenti 174
13.2.6 Valutazione della snellezza e dei coefficienti di instabilità per flessione 174
13.2.7 Verifica 175
13.3 Utilizzo di IA per verifica di colonna a pressoflessione instabile 175

CAPITOLO 14 - VERIFICA DI PARETI X-LAM 178
14.1. Algoritmi generali 178
14.1.1 Flessione 178
14.1.2 Trazione e compressione 179
14.1.3 Taglio 179
14.2 Applicazione manuale di verifica a pressoflessione nel piano 180
14.2.1 Testo del problema 180
14.2.2 Determinazione delle resistenze 180
14.2.3 Determinazione di k_{mod} 180

14.2.4 Valutazione del comportamento fuori piano 180
14.2.5 Valutazione del comportamento nel piano 181
14.2.6 Verifica a pressoflessione 181
14.2.7 Verifica a taglio 182
14.3 Utilizzo dell'IA per verifica a pressoflessione e taglio 182

CAPITOLO 15 - VERIFICHE MURATURE ORDINARIE 186
15.1 Algoritmi generali 186
15.1.1 Resistenze 186
15.1.2 Pressoflessione 187
15.1.3 Taglio 188
15.2 Applicazione manuale di verifica a pressoflessione 190
15.2.1 Testo del problema 190
15.2.2 Determinazione delle sollecitazioni 191
15.2.3 Determinazione della esistenza di progetto f_d della muratura 191
15.2.4 Determinazione di M_u 191
15.2.5 Verifica 191
15.3 Applicazione manuale di verifica a taglio 191
15.3.1 Testo del problema 191
15.3.2 Determinazione di L' 192
15.3.3 Verifica 192
15.4 Applicazione con IA 193
15.4.1 Determinazione della resistenza di progetto di una muratura 193
15.4.2 Verifica a pressoflessione 194
15.4.3 Verifica a taglio 196

CAPITOLO 16 - VERIFICHE A TRAZIONE E COMPRESSIONE SU ELEMENTI IN ACCIAIO (SLU) 200
16.1 Algoritmi generali 200
16.1.1 Trazione 200
16.1.2 Compressione per elementi stabili 200
16.2 Applicazione manuale 201
16.2.1 Testo del problema 201
16.2.2 Verifica delle condizioni di stabilità 201
16.3 Applicazione con IA 202

CAPITOLO 17 - VERIFICHE A COMPRESSIONE INSTABILE SU ELEMENTI IN ACCIAIO 206
17.1 Algoritmi generali 206
17.1.1 Carico critico euleriano 206
17.1.2 Snellezza normalizzata 206
17.1.3 Verifica a compressione per elementi instabili 206
17.2 Applicazione manuale 208
17.2.1 Testo del problema 208
17.2.2 Determinazione dei parametri meccanici e snellezza 208
17.2.3 Verifica 210
17.3 Applicazione con IA 211

CAPITOLO 18 - VERIFICHE A FLESSIONE NEGLI ELEMENTI METALLICI 212
18.1 Algoritmi generali 212
18.1.1 Flessione retta (SLU) 212
18.1.2 Instabilità flesso torsionale 213
18.1.3 Momento critico di instabilità flesso torsionale 214
18.1.4 Snellezza adimensionale 215
18.1.5 Verifiche a pressoflessione e tensoflessione retta 215
18.1.6 Verifiche a pressoflessione e tensoflessione biassiale 216
18.1.7 Verifiche a pressoflessione per instabilità 217
18.2 Applicazione manuale per flessione retta 219
18.3 Applicazione manuale per pressoflessione instabile 219
18.3.1 Testo del problema 219
18.3.2 Determinazione dei momenti equivalenti 219
18.3.3 Determinazione delle resistenze 219
18.3.4 Determinazione dei parametri euleriani 219
18.3.5 Verifica per instabilità flesso-torsionale 220
18.3.6 Verifica tensionale stabile 221
18.4 Utilizzo dell'IA per flessione retta 221
18.5 Utilizzo dell'IA per pressoflessione instabile 221

CAPITOLO 19 - VERIFICHE A TAGLIO E TORSIONE NEGLI ELEMENTI METALLICI 225
19.1 Algoritmi generali 225
19.1.1 Verifiche a taglio (SLU) 225
19.1.2.Verifiche a flessione e taglio (SLU) 227
19.1.3 Verifiche a torsione semplice (SLU) 227
19.1.4 Verifiche a taglio e torsione (SLU) 227
19.1.5 Verifiche a flessione, taglio e sforzo assiale (SLU) 228
19.2 Applicazione manuale di verifica a taglio (SLU) 228
19.2.1 Testo del problema 228
19.2.2 Determinazione dei parametri della sezione resistente 228
19.2.3 Verifica 230
19.3 Utilizzo dell'IA per verifica a taglio (SLU) 231
19.4 Applicazione manuale di verifica a torsione (SLU) 232
19.4.1 Testo del problema 232
19.4.2 Verifica 233
19.5 Utilizzo dell'IA per verifica a torsione (SLU) 233

CAPITOLO 20 - VERIFICA DI GIUNTI METALLICI 236
20.1 Algoritmi principali 236
20.1.1 Modalità di rottura dei collegamenti bullonati 236
20.1.2 Verifica della rottura del gambo 237
20.1.3 Verifica della rottura per rifollamento 238
20.1.4 Verifica della rottura a trazione dei bulloni 239

20.1.5 Verifica della rottura per punzonamento dei piatti 239
20.1.6 Resistenza complessiva di un collegamento 240
20.1.7 Resistenza combinata taglio trazione 240
20.2 Verifica del giunto con IA e immissione dati su schizzo eseguito a mano 240

CAPITOLO 21 - VERIFICHE SU SOLAI 248
21.1 Algoritmi generali 248
21.1.1 Verifica a flessione allo SLU 248
21.1.2 Verifica a taglio allo SLU 248
21.1.3 Verifica di deformabilità 249
21.1.4 Verifiche tensionali agli SLE 251
21.2 Applicazione manuale 251
21.2.1 Testo del problema 251
21.2.2 Resistenze dei materiali 252
21.2.3 Carichi e sollecitazioni SLU 252
21.2.4 Determinazione del momento agente allo SLU 252
21.2.5 Determinazione del momento resistente allo SLU 252
21.2.6 Verifica a momento flettente 253
21.2.7 Verifica della condizione di duttilità 253
21.2.8 Verifica delle condizioni di dettaglio applicabili 253
21.3 Utilizzo dell'IA 254

CAPITOLO 22 - ANALISI DI TELAI TRIDIMENSIONALI CON IA 260
22.1 Considerazioni generali sulla progettazione 260
22.2 Generazione automatica di un telaio con IA 261
22.2.1 Immissione dei dati (prompting) 261
22.3 Analisi sismica 265
22.3.1 Determinazione del tagliante globale sismico 265
22.3.2 Distribuzione del tagliante sui telai 270
22.3.3 Determinazione dei momenti alla base dei pilastri 277
22.3.4 Determinazione degli sforzi normali alla base dei pilastri 279
22.3.5 Riassunto delle azioni M, N, T 285
22.3.6 Progetto delle armature e verifiche 287
22.4 Telai con altre tipologie di materiali 294

CAPITOLO 23 - ANALISI DI STRUTTURA METALLICA CON TRAVE A TRALICCI 295
23.1 Considerazioni generali sulla progettazione 295
23.2 Generazione automatica del portale 295
23.2.1 Immissione dei dati (prompting) 295
23.2.2 Determinazione delle sollecitazioni 297
23.2.3 Verifiche 302

CAPITOLO 24 - CERCHIATURE METALLICHE SU MURATURE 308
24.1 Esempio interattivo di progetto 308
24.2 Immissione dei dati e svolgimento del processo 308

CAPITOLO 25 - CAPRIATE IN LEGNO 317
25.1 Esempio interattivo di progetto 317
25.2 Immissione dei dati e proposta di progetto 317
25.3 Richiesta di riscontro delle sezioni proposte da IA 322
25.4 Adeguamento delle sezioni proposte e verifiche 324
25.5 Dimensionamento dei collegamenti 334

LEGIS
TECNICA

Pagine non disponibili
in anteprima

6.3.6 Verifiche di dettaglio

6.3.6.1 Condizioni “non sismiche”

a) Diametro barre longitudinali:

$$\phi_{long} = 16mm \geq 12mm \qquad \text{verificato} \tag{6.35}$$

b) Passo barre longitudinali

Sui lati orizzontali:

$$p = \frac{b - 2c}{\frac{n.long.sup+inf}{2} - 1} = \frac{40 - 2 \cdot 8}{\frac{8}{2} - 1} = 10{,}67cm < 30cm \quad \text{verificato} \tag{6.36}$$

Sui lati verticali:

$$p = \frac{h-2c}{\frac{n.long.dx+sx(ulteriori)}{2}+2-1} = \frac{60-2\cdot 8}{\frac{2}{2}+2-1} = 26cm < 30cm \qquad \text{verificato} \tag{6.37}$$

c) Sezione complessiva delle barre longitudinali:

$$A_s = 20{,}1cm^2 > \frac{0{,}1 \cdot 95.000}{3.913} \approx 2{,}43cm^2 \qquad \text{verificata} \tag{6.38}$$

$$A_s = 20{,}1cm^2 > 0{,}003 \cdot 40 \cdot 60 = 7{,}2cm^2 \qquad \text{verificata} \tag{6.39}$$

d) Interasse staffe:

$$s = 16cm < 12 \cdot 1{,}6 = 19{,}2cm \qquad \text{verificato} \tag{6.40}$$

$$s = 16cm < 25cm \qquad \text{verificato} \tag{6.41}$$

e) Diametro delle staffe:

$$\phi_{staffe} = 8mm > 6mm \qquad \text{verificato} \tag{6.42}$$

$$\phi_{staffe} = 8mm > \frac{16}{4} = 4mm \qquad \text{verificato} \tag{6.43}$$

f) Sezione barre al di fuori delle zone di sovrapposizione:

$$A_s = 20{,}1cm^2 < 0{,}04 \cdot 40 \cdot 60 = 96cm^2 \qquad \text{verificato} \tag{6.44}$$

6.3.6.2 Condizioni "sismiche"

a) Dimensione minima della sezione trasversale:

$$b \wedge h = 40cm \wedge 60cm > 25cm \qquad \text{verificata} \tag{6.45}$$

b) Interasse delle barre longitudinali:

Sui lati orizzontali:

$$p = \frac{b - 2c}{\frac{n.long.sup+inf}{2} - 1} = \frac{40 - 2 \cdot 8}{\frac{8}{2} - 1} = 10{,}67cm < 25cm \quad \text{verificato} \tag{6.46}$$

Sui lati verticali:

$$p = \frac{h-2c}{\frac{n.long.dx+sx(ulteriori)}{2}+2-1} = \frac{60-2\cdot 8}{\frac{2}{2}+2-1} = 26cm > 25cm \quad \text{non verificato} \tag{6.47}$$

c) Percentuale geometrica di armatura:

$$\frac{20{,}1}{40 \cdot 60} \approx 0{,}0083 < 0{,}01 \qquad \text{non verificata} \tag{6.48}$$

In conclusione, la sezione non è verificata per le condizioni geometriche (interasse barre longitudinali e minimi di armatura) previste per le condizioni sismiche.

6.4 APPLICAZIONE CON IA

Ad un primo tentativo effettuato con l'introduzione del testo indicato al paragrafo 6.3.1 il responso dell'IA ha dato risultati in parte corretti e in parte non accettabili. Ciò è stato dovuto essenzialmente alla complessità della richiesta immessa. Si è scelto dunque di eseguire il prompting per fasi con specifiche esplicitazioni.
In una **prima fase** è stata richiesta la determinazione della snellezza limite. L'esito viene di seguito riportato.

Determinare la snellezza limite di un pilastro in calcestruzzo armato C25/30 avente base = 40 cm, altezza = 60 cm, copriferro = 4 cm, armatura costituita da 4d16 superiori + 4d16 inferiori; ulteriori 2d16 in mezzo ai lati verticali (uno a destra e uno a sinistra); staffe d8 ogni 16 cm; luce libera di inflessione verticale del pilastro sia pari a 350 cm, secondo la formula prevista dalle NTC 2018, (formula 4.1.41)

La **snellezza limite (λ_{lim})** del pilastro, calcolata applicando rigorosamente la formula approssimata del testo ufficiale delle **NTC 2018** (§ 4.1.2.3.9.2), è pari a **$47,30$**

1. Definizione della Formula

Gli effetti del secondo ordine per pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza reale non supera il valore limite espresso dalla formula:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{25}{\sqrt{\nu}} \quad \text{[Formula 4.1.41]}$$

Dove:

- ν è lo sforzo assiale adimensionalizzato agente sulla sezione di solo calcestruzzo.

2. Calcolo dei Parametri

1. **Area della sezione di calcestruzzo (A_c):**

$$A_c = b \cdot h = 400 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm} = 240.000 \text{ mm}^2$$

2. **Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo (f_{cd}):**
   Per un calcestruzzo di classe C25/30 ($f_{ck} = 25$ MPa):

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} = 14,17 \text{ MPa} \quad (14,167 \text{ N/mm}^2)$$

3. **Sforzo assiale di calcolo allo SLU (N_{Ed}):**

$$N_{Ed} = 95.000 \text{ daN} = 950.000 \text{ N}$$

LEGIS
TECNICA

Pagine non disponibili
in anteprima

Per le **sezioni ad I o H** la resistenza a taglio ridotta è data dalla formula:

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \cdot \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{\left(\frac{1{,}25 \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}\right)}} \tag{19.16}$$

dove $\tau_{t,Ed}$ è la tensione tangenziale massima dovuta alla torsione uniforme.

Per **sezioni cave**, invece, la formula è

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \cdot \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}\right)}} \tag{19.17}$$

19.1.5 Verifiche a flessione, taglio e sforzo assiale (SLU)

Nel calcolo del momento flettente resistente devono essere considerati gli effetti di sforzo assiale e taglio, se presenti.
Nel caso in cui il taglio di calcolo, V_{Ed}, sia inferiore al 50% della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, la resistenza a flessione della sezione può essere calcolata con le formule per la tenso/presso flessione. Se la sollecitazione di taglio supera il 50% della resistenza a taglio, si assume una tensione di snervamento ridotta per l'interazione tra flessione e taglio:

$$f_{yk,red} = (1 - \rho) \cdot f_{yk} \tag{19.18}$$

dove

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1\right)^2 \tag{19.19}$$

Per le **sezioni di classe 3 e classe 4** le verifiche devono essere condotte con riferimento alla resistenza elastica (verifica tensionale); per le sezioni di classe 4 si possono utilizzare le proprietà geometriche efficaci della sezione trasversale.

19.2 APPLICAZIONE MANUALE DI VERIFICA A TAGLIO (SLU)

19.2.1 Testo del problema

Si verifichi a taglio una trave metallica S275 con profilo HE 240 A (vedi figura 19.1) soggetta a V_{Ed} = 10.000 daN.

19.2.2 Determinazione dei parametri della sezione resistente

Richiediamo all'IA i parametri geometrico-meccanici della sezione.

Parametri geometrico meccanici di una sezione metallica S275 HE240A

Caratteristiche del Materiale (Acciaio S275)

I valori meccanici per elementi con spessore nominale inferiore a 40 mm sono:

- **Tensione di snervamento (f_y):** $275\ \text{N/mm}^2$
- **Tensione di rottura a trazione (f_u):** $430\ \text{N/mm}^2$
- **Modulo elastico longitudinale (E):** $210.000\ \text{N/mm}^2$
- **Modulo di elasticità tangenziale (G):** $80.770\ \text{N/mm}^2$

Dimensioni Geometriche della Sezione

- **Altezza (h):** $230\ \text{mm}$
- **Larghezza delle ali (b):** $240\ \text{mm}$
- **Spessore dell'anima (t_w):** $7,5\ \text{mm}$
- **Spessore delle ali (t_f):** $12,0\ \text{mm}$
- **Raggio di raccordo (r):** $21\ \text{mm}$
- **Altezza diritta dell'anima (d):** $164\ \text{mm}$

Proprietà Geometriche e Statiche

I dati considerano l'asse x-x come asse forte (parallelo alle ali) e l'asse y-y come asse debole (parallelo all'anima).

- **Area della sezione (A):** $76,84\ \text{cm}^2$
- **Massa lineica:** $60,3\ \text{kg/m}$
- **Superficie specifica:** $1,369\ \text{m}^2/\text{m}$

Asse Forte (x-x)

- **Momento d'inerzia (I_x):** $7.763\ \text{cm}^4$
- **Modulo di resistenza elastico ($W_{el,x}$):** $675,1\ \text{cm}^3$
- **Modulo di resistenza plastico ($W_{pl,x}$):** $744,6\ \text{cm}^3$
- **Raggio di girazione (i_x):** $10,05\ \text{cm}$

Asse Debole (y-y)

- **Momento d'inerzia (I_y):** $2.769\ \text{cm}^4$
- **Modulo di resistenza elastico ($W_{el,y}$):** $230,7\ \text{cm}^3$
- **Modulo di resistenza plastico ($W_{pl,y}$):** $351,7\ \text{cm}^3$
- **Raggio di girazione (i_y):** $6,00\ \text{cm}$

Proprietà Torsionali

- **Costante di torsione di St. Venant (I_t):** $41,55\ \text{cm}^4$
- **Costante di ingobbamento (I_w):** $328,5 \cdot 10^3\ \text{cm}^6$

Per la valutazione di A_v si assume la (19.3), ovvero

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_W + 2 \cdot r) \cdot t_f = 76{,}84 - 2 \cdot 24 \cdot 1{,}2 + (0{,}75 + 2 \cdot 2{,}1) \cdot 1{,}2 = 25{,}18 cm^2$$

Verifichiamo i dati con IA

area resistente a taglio

L'**area resistente a taglio (A_v)** per un profilo **HE240A**, calcolata unicamente sulla base delle sue proprietà geometriche e dei valori dell'acciaio **S275**, assume i seguenti valori a seconda della direzione della forza:

- **Taglio parallelo all'anima (Direzione Z - Asse forte):** $A_{vz} = 2.520\ \text{mm}^2$ (pari a $\mathbf{25,20\ cm^2}$)

19.2.3 Verifica

Eseguiamo la verifica:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{25{,}18 \cdot 2.750}{1{,}05 \cdot \sqrt{3}} \approx 38.000\ daN > 10.000\ daN = V_{Ed}$$

Verificato

19.3 UTILIZZO DELL'IA PER VERIFICA A TAGLIO (SLU)

Si veda quanto al precedente paragrafo e si continui l'input nel seguente modo.

Verifica a taglio agente in direzione dell'anima VEd = 10.000 daN

La **verifica a taglio per la sezione HE240A in acciaio S275 è pienamente soddisfatta**. Lo sforzo agente impegna il **26,2%** della capacità massima della sezione.

1. Conversione delle Unità di Misura

Convertiamo il valore del taglio agente V_{Ed} da decanewton (daN) in chilonewton (kN):

$$V_{Ed} = 10.000 \text{ daN} = 100 \text{ kN}$$

2. Calcolo della Resistenza a Taglio di Progetto (V_{Rd})

Utilizzando l'area resistente a taglio parallela all'anima $A_{vz} = 2.520 \text{ mm}^2$, la tensione di snervamento $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ e il coefficiente di sicurezza strutturale standard pari a $1,05$:

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{1,05}$$

$$V_{Rd} = \frac{2.520 \cdot \left(\frac{275}{1,732} \right)}{1,05} \cdot 10^{-3} = 381,06 \text{ kN}$$

3. Valutazione del Rapporto di Sfruttamento

Confrontiamo l'azione con la resistenza calcolata:

$$\text{Rapporto di sfruttamento} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{100 \text{ kN}}{381,06 \text{ kN}} = 0,2624 \rightarrow 26,24\%$$

Poiché $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ $(100 \text{ kN} \leq 381,06 \text{ kN})$, la sezione è idonea a sopportare il carico.