



NextFEM Designer  
Modulo FireSafe

Versione 2.3

© NextFEM 2015-2024

# Indice

Capitolo 1 Introduzione .....	3
Normativa di riferimento .....	3
<b>Capitolo 2 Descrizione dell'analisi svolta e validazione</b> .....	<b>4</b>
Analisi termica .....	4
Origine e caratteristiche dei codici di calcolo .....	4
Validazione .....	4
Calcolo termico automatico delle sezioni .....	5
<b>Verifiche dell'elemento</b> .....	<b>7</b>
Ricoprimento sezioni – progettazione antincendio .....	7
Capitolo 3 Elenco delle verifiche .....	9
Elementi in acciaio .....	9
Valutazione della classe della sezione .....	10
Trazione/compressione (Assiale) .....	10
Taglio semplice (Taglio) .....	11
Flessione semplice (con interazione taglio/momento) (Flessione) .....	11
Pressoflessione biassiale (Pressoflessione_inst) e tensoflessione biassiale (Tensoflessione_biax) .....	11
Elementi in alluminio .....	12
Valutazione della classe della sezione .....	13
Trazione/compressione (Assiale) .....	14
Taglio semplice (Taglio) .....	14
Flessione semplice (con interazione taglio/momento) (Flessione) .....	14
Pressoflessione biassiale (Pressoflessione_inst) e tensoflessione biassiale (Tensoflessione_biax) .....	14
Elementi in calcestruzzo armato .....	15
Stabilità in compressione .....	16
Taglio per elementi non armati .....	16
Taglio per elementi armati .....	16
Tenso/presso/flessione .....	16

# Capitolo 1

## Introduzione

In questo manuale vengono mostrate e validate le analisi termiche e le verifiche antincendio condotte con *NextFEM Designer*.

Normativa di riferimento

Il programma implementa le seguenti norme di riferimento:

1. EN 1993-1-1: Eurocodice 3 - Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-1: Norme generali e regole per gli edifici
2. EN 1993-1-2: Eurocodice 3 - Progettazione di strutture in acciaio - Parte 1-2: Norme generali - Progettazione strutturale antincendio
3. EN 1992-1-1: Eurocodice 2 - Progettazione di strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Norme generali e norme per gli edifici
4. EN 1992-1-2: Eurocodice 2 - Progettazione di strutture in calcestruzzo - Parte 1-2: Norme generali - Progettazione strutturale degli incendi
5. Ministero delle Infrastrutture, D.M. 17-01-2018 (di seguito, NTC2018) e Allegato n. 617 del 02/02/2009
6. EN 1999-1-1: Eurocodice 9 - Progettazione di strutture in alluminio - Parte 1-1: Norme strutturali generali
7. EN 1999-1-2: Eurocodice 9 - Progettazione di strutture in alluminio - Parte 1-2: Norme generali - Progettazione strutturale antincendio

## Capitolo 2

### Descrizione dell'analisi svolta e validazione

Nel paragrafo seguente verrà presentata una validazione per l'analisi termica condotta con *NextFEM Designer*.

Analisi termica

L'analisi viene effettuata utilizzando una metodologia di calcolo non lineare, cioè permettendo al solutore di iterare all'aumentare della temperatura applicata al lato esposto (**lato destro dell'equazione**) come condizione di Dirichlet dell'equazione di trasmissione del calore, espressa in forma matriciale di seguito:

$$\underline{C}\dot{\underline{T}} + \underline{K}\underline{T} = \underline{Q}$$

con:

$\underline{T}$  vettore delle temperature nodali,  $\dot{\underline{T}}$  la sua derivata rispetto al tempo,  $\underline{Q}$  vettore del carico termico;

$C$  matrice di capacità, che raccoglie i valori di calore specifico di ogni elemento della mesh;

$K$  matrice di conducibilità termica, che raccoglie i valori di conducibilità di ogni elemento della mesh.

In accordo con la norma europea EN 1992-1-2 "Progettazione di strutture in calcestruzzo - Part 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale antincendio" - Aprile 2005 (di seguito Eurocodice 2, EC2), il solutore fa variare le caratteristiche del materiale analizzato in funzione del tempo, secondo le leggi dettate dalla norma stessa. Le leggi di variazione nel tempo sono riportate normalizzate al valore unitario per la temperatura iniziale di 20°C.

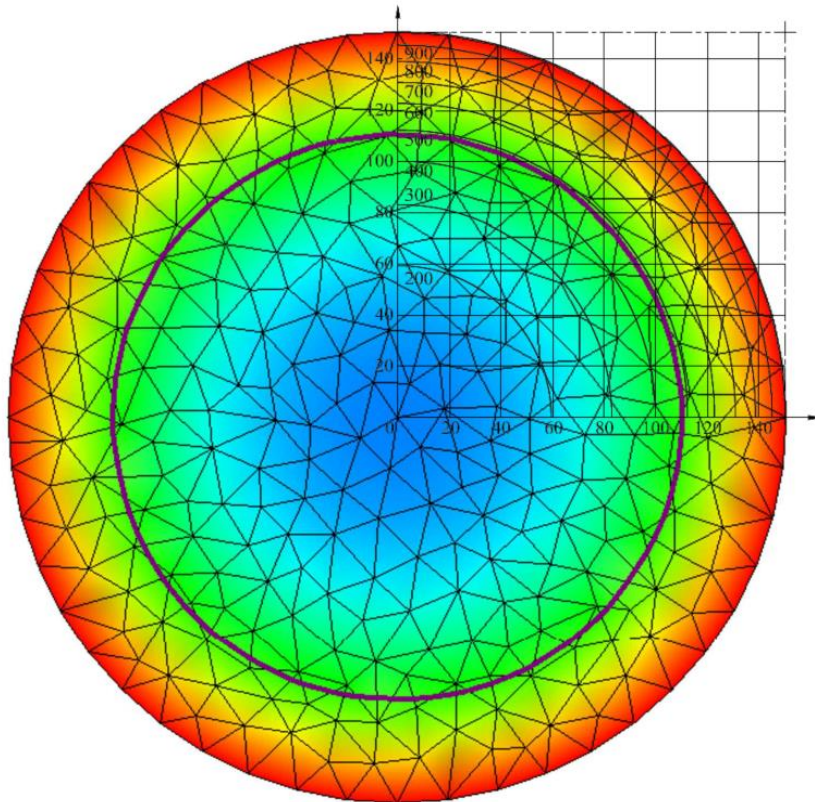
Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Il solutore, *OOFEM*, viene utilizzato di default per eseguire il calcolo. Altri tipi di solutori, sebbene impostabili dalle opzioni del programma, non sono supportati ai fini della validazione presentata. *OOFEM* viene concesso con licenza LGPL, riportata in [?/Informazioni su...](#) e allegata al pacchetto software. Il solutore è sviluppato dal prof. Borek Patzak, Università di Praga, e dalla comunità di [oofem.org](http://oofem.org).

Validazione

Viene riportata una convalida dell'analisi termica condotta con *NextFEM Designer*. Il confronto è fatto con la figura A.18 di EC2-1-2 su una colonna circolare di calcestruzzo a  $t=90$  minuti.

La linea viola rappresenta la curva isoterma per  $T=500^\circ\text{C}$ .



Calcolo termico automatico delle sezioni

L'analisi può essere condotta attraverso questi semplici passi:

1. ottenere le mappe termiche delle sezioni, compresa una rapida stima della forza della sezione analizzata con il comando *Risultati / Verifica al fuoco...*

Nella finestra che appare è possibile selezionare:

- *Curva incendio*: la curva di incendio per l'analisi, di default è la ISO 834 adottata da NTC e Eurocodici;
  - *Combinazione di carico*: [opzionale] selezionare la combinazione di carico eccezionale utilizzata per una prima verifica speditiva, eseguita subito a valle delle analisi termiche. L'opzione è disponibile solo se il check "Solo analisi" è disattivato;
  - *Criterio di selezione della sezione*: [opzionale] la sezione all'interno dell'elemento utilizzata per la verifica deve soddisfare il criterio selezionato (momento massimo  $M_y$ , momento massimo  $M_z$ , momento massimo in entrambe le direzioni  $M_{yz}$ );
  - *Lati esposti per travi*: specifica i lati considerati esposti all'incendio durante l'analisi per le travi;
  - *Lati esposti per pilastri*: specifica i lati considerati esposti all'incendio durante l'analisi per gli elementi verticali;
  - *Tempo finale di analisi in minuti*: specifica il tempo finale delle analisi termiche, che coincide con l'istante di verifica.
- L'opzione *Mostra risultati* visualizza l'isoterma a 500°C per ogni sezione analizzata, in una finestra separata.

Imposta analisi termica

Impostazioni per gli elementi selezionati

Curva incendio: Curva incendio NTC

Combinazione di carico: [ ]

Criterio di selezione della: Max Myz

Lati esposti per travi: 3 - laterali e inferiore

Lati esposti per pilastri: 4 - tutti

Tempo finale di analisi in minuti: 90

Solo analisi  Mostra risultati

Genera i modelli per la verifica

Pulisci modelli per verifica al fuoco

Se l'opzione "Solo analisi" è disattivata, il comando restituisce una tabella contenente i rapporti domanda/capacità delle sezioni analizzate nelle colonne Check-NMM (pressione e flessione) e Check-V (taglio). Le immagini relative alla verifica resistente vengono salvate nella stessa cartella del modello (rappresentazione della sezione e dell'asse neutro, dominio resistente ridotto per effetto del calore).

Eseguendo il comando "Genera i modello per la verifica", il programma salverà nella cartella del modello corrente un nuovo file NXF per ogni sezione elaborata. Tale file deve contenere i risultati dell'analisi termica per poter essere elaborato dalla successiva verifica strutturale, e deve essere conservato insieme al modello di partenza.

**⚠ AVVISO:** le verifiche mostra in questa fase sono condotte su un'unica sezione dell'elemento, e pertanto sono solo indicative e non sostituiscono le verifiche estese sugli elementi (vedi paragrafo successivo).

**⚠ AVVISO:** Le sezioni sono meshate automaticamente sulla base del valore specificato in *Strumenti / Opzioni / Dimensioni mesh*. Il valore è in *mm*.

Opzioni per mesh e output

Tolleranza per merge: 0.000100

Separatore valori: :

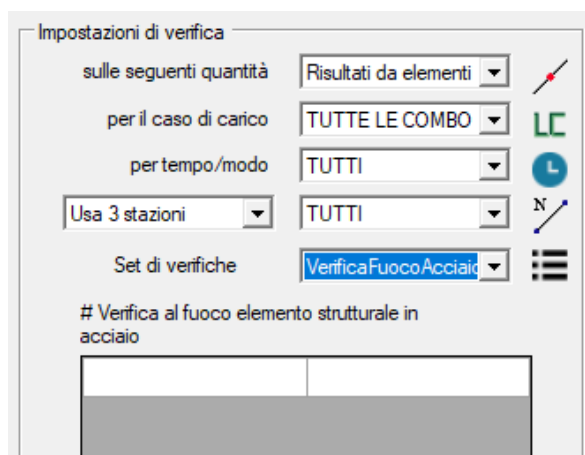
Dimensione mesh: 500 mm

Mantieni colori modello

## Verifiche dell'elemento

Per verificare gli elementi, utilizzare uno dei seguenti set di verifica, in funzione del materiale della struttura:

- VerificaFuocoCA per il c.a.
- VerificaFuocoAcciaio per l'acciaio
- VerificaFuocoAlluminio per l'alluminio
- VerificaFuocoPonteggiAcciaio per i ponteggi in acciaio.



In generale, vengono fornite verifiche per la stabilità a taglio, a flessione e assiale. Vedere il capitolo 3 per un elenco completo delle verifiche.

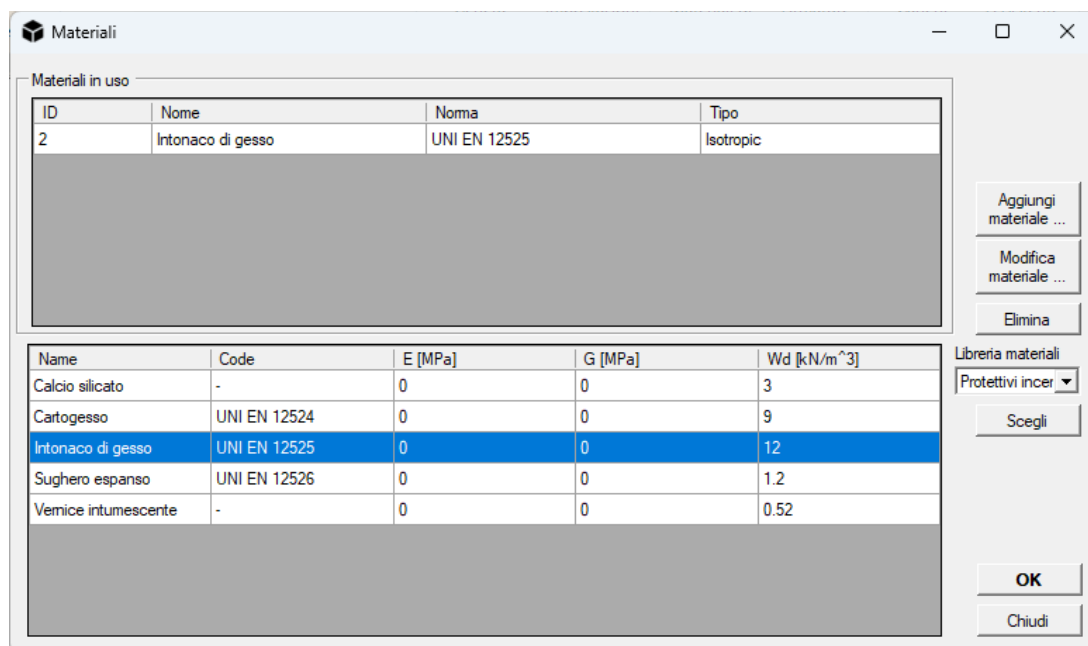
**⚠️ AVVISO:** L'elemento sarà verificato se il modello .NXF contenente l'analisi termica della sezione corrispondente include anche i risultati. Altrimenti, la verifica verrà interrotta.

Ricoprimento sezioni – progettazione antincendio

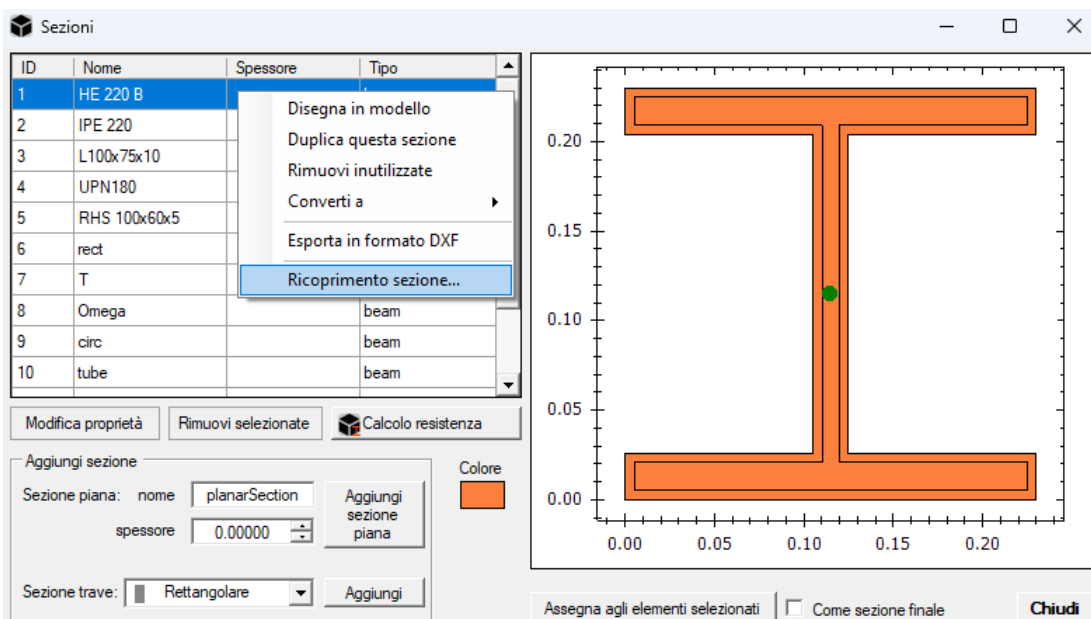
NextFEM Designer permette la verifica delle strutture esistenti mediante il procedimento descritto in precedenza.

Per verificare l'efficacia della protezione al fuoco delle strutture nei confronti del requisito R (Resistenza), è possibile svolgere l'analisi imputando lo strato protettivo (vernice, cartongesso, ecc.) direttamente alla sezione dell'elemento.

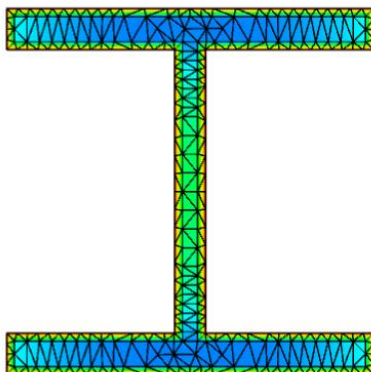
Per selezionare un materiale di ricoprimento non strutturale, selezionare dapprima *Assegna / Materiali di progetto e scegliere la libreria "Protettivi incendio"*.



In seguito, dalla maschera *Modifica / Sezioni*, applicare il rivestimento con il comando *tasto dx / Ricoprimento sezione*, specificando lo spessore quando richiesto.



Le analisi termiche condotte per quella sezione comprenderanno lo strato protettivo aggiunto, come in figura successiva. Al contempo, lo strato di rivestimento non strutturale non ha effetti nelle analisi strutturali svolte nel modello principale.





## Capitolo 3

### Elenco delle verifiche

Elementi in acciaio

In questo capitolo sono esplicitate le verifiche svolte da *NextFEM Designer* per le travi/aste di materiale acciaio.

A: Area

Jz: **inerzia rispetto all'asse Z della sezione**

Jy: **inerzia rispetto all'asse Y della sezione**

Jt: inerzia torsionale

D: diametro esterno sezione

b: base della sezione per tutte le sezioni generiche

h: altezza della sezione per tutte le sezioni generiche

tw: **spessore dell'anima**

tf1: spessore della flangia superiore

tf2: spessore della flangia inferiore

t: spessore delle sezioni per elementi piani

N: forza assiale

V: Taglio generico lungo un asse della sezione

Vy: Taglio lungo Y

Vz: Taglio lungo Z

Mt: Momento torcente

M: Momento generico attorno ad un asse della sezione

Myy: **Momento attorno all'asse Y**

Mzz: **Momento attorno all'asse Z**

Em: modulo di Young del materiale

Gm: modulo di taglio del materiale

Nlm: coefficiente di Poisson del materiale

fk: resistenza caratteristica del materiale

WelZ: modulo resistente in direzione Z

WelY: modulo resistente in direzione Y

WplZ: modulo resistente plastico in direzione Z

WplY: modulo resistente plastico in direzione Y

iz: **raggio d'inerzia per l'asse Z**

iy: **raggio d'inerzia per l'asse Y**

imin: **raggio d'inerzia minimo**

Sono di seguito elencate le verifiche condotte per ogni asta/trave in materiale acciaio. Tutte le formule riportate sono esplicitate nei confronti del rapporto di utilizzazione della verifica, espresso in generale come:

$$\rho = \frac{E_d}{R_d} = \frac{E_d}{\frac{R_k}{\gamma_M}}$$

Con  $E_d$  azione sollecitante di progetto

$R_d$  resistenza di progetto, pari a  $\frac{R_k}{\gamma_M}$

$R_k$  resistenza caratteristica del materiale

$\gamma_M$  coefficiente parziale di sicurezza del materiale

⚠ ATTENZIONE: le verifiche riportate non supportano sezioni di classe 4.

Valutazione della classe della sezione

Conservativamente, la classe di ogni sezione è valutata come la massima classe fra tutte le parti della sezione considerate puramente compresse.

Tipo sezione	Parte	Rapporto	Classe 1	Classe 2	Classe 3
<b>Rettangolari</b>		/			<i>sempre</i>
<b>Doppio T, T, C</b>	anima	$0.9(h-tf1)/tw$	$33\varepsilon$	$38\varepsilon$	$42\varepsilon$
	ali	$0.9(b/2-tw)/tf1$	$9\varepsilon$	$10\varepsilon$	$14\varepsilon$
<b>Angolari</b>	anima	$h_{max}/te$			$15\varepsilon$
	ali	$(b+h)/(2te)$			$11.5\varepsilon$
<b>Box</b>	anima	$(h-2te)/te$	$9\varepsilon$	$10\varepsilon$	$14\varepsilon$
	ali	$(b-2te)/te$	$9\varepsilon$	$10\varepsilon$	$14\varepsilon$
<b>Tubi</b>		$D/te$	$50\varepsilon^2$	$70\varepsilon^2$	$90\varepsilon^2$
<b>Barre</b>		/		<i>sempre</i>	
<b>Generiche</b>		/			<i>sempre</i>

$$\text{con } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Il nome della colonna nel programma viene presentato fra parentesi (es. (StabilitàEuleriana)).

Trazione/compressione (Assiale)

In trazione:

$$\rho_N = \frac{N}{N_{Rd}} = \frac{N}{\frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}}$$

In compressione (stabilità euleriana):

$$\rho_{Nb} = \frac{N}{N_{b,Rd}} = \frac{N}{\frac{\chi_{\min} Af_{yk}}{\gamma_{M1}}}$$

con  $\chi_{\min}$  ottenuto da paragrafo 4.2.4.1.3.1 delle NTC2008. Le curve di instabilità sono scelte concordemente alla seguente tabella e sono determinate per sezioni laminare:

Tipo sezione	$\alpha_y$	$\alpha_z$	$\alpha_{LT}$
<b>Rettangolari</b>	0.49	0.49	0.76
<b>Doppio T, I</b>	da 0.21 a 0.76	da 0.21 a 0.76	da 0.34 a 0.49
<b>Angolari, C, T</b>	0.49	0.49	0.76
<b>Box</b>	0.49	0.49	0.76
<b>Tubi</b>	0.49	0.49	0.76
<b>Barre</b>	0.49	0.49	0.76
<b>Generiche</b>	-	-	-

Taglio semplice (Taglio)

$$\rho_V = \frac{V}{V_{Rd}} = \frac{V}{\frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}}$$

Flessione semplice (con interazione taglio/momento) (Flessione)

$$\rho_{Mrid} = \frac{M}{\alpha_{PL} \cdot W \cdot f_{yk} \cdot \cos(\rho_N)} = \frac{M}{M_{Rd} \cdot \cos(\rho_N)} \quad \text{se il taglio sollecitante non supera il 30\% di quello resistente plastico}$$

$$\rho_{Mrid} = \frac{M}{M_{Rd,red}}, \quad \text{con } M_{Rd,red} = M_{Rd} \left(1 - \min((2\rho_V - 1)^2, 1)\right) \quad \text{se il taglio sollecitante supera il 50\% di quello resistente, } M_{Rd,red} = M_{Rd} \text{ altrimenti.}$$

Pressoflessione biassiale (Pressoflessione\_inst) e tensoflessione biassiale (Tensoflessione\_biax)

Se l'elemento è compresso, le verifiche a instabilità sono eseguite secondo la procedura semplificata A delle NTC2008.

$$\rho_{MNb} = \frac{\rho_N}{\chi_{min}} + \frac{\rho_{M_y}}{r_{ridN_{cr}}} + \frac{\rho_{M_z}}{r_{ridN_{cr}}} \quad \text{con } r_{ridN_{cr}} = 1 - \frac{\rho_N \bar{\lambda}^2}{\gamma_{M0}}$$

Se l'elemento è teso:

$$\rho_{MNb} = \rho_N + \rho_{M_y} + \rho_{M_z}$$

## Elementi in alluminio

In questo capitolo sono esplicitate le verifiche svolte da *NextFEM Designer* per le travi/aste di materiale alluminio (lega di alluminio). Queste tipologie di verifiche fanno riferimento alla norma UNI EN 1999-1-1 (Eurocodice 9).

A: Area

Jz: **inerzia rispetto all'asse Z della sezione**

Jy: **inerzia rispetto all'asse Y della sezione**

Jt: inerzia torsionale

D: diametro esterno sezione

b: base della sezione per tutte le sezioni generiche

h: altezza della sezione per tutte le sezioni generiche

tw: **spessore dell'anima**

tf1: spessore della flangia superiore

tf2: spessore della flangia inferiore

t: spessore delle sezioni per elementi piani

N: forza assiale

V: Taglio generico lungo un asse della sezione

Vy: Taglio lungo Y

Vz: Taglio lungo Z

Mt: Momento torcente

M: Momento generico attorno ad un asse della sezione

Myy: **Momento attorno all'asse Y**

Mzz: **Momento attorno all'asse Z**

Em: modulo di Young del materiale

Gm: modulo di taglio del materiale

Nlm: coefficiente di Poisson del materiale

fk: resistenza caratteristica del materiale

WelZ: modulo resistente in direzione Z

WelY: modulo resistente in direzione Y

WplZ: modulo resistente plastico in direzione Z

WplY: modulo resistente plastico in direzione Y

iz: **raggio d'inerzia per l'asse Z**

iy: **raggio d'inerzia per l'asse Y**

imin: **raggio d'inerzia minimo**

Sono di seguito elencate le verifiche condotte per ogni asta/trave in materiale alluminio. Tutte le formule riportate sono esplicitate nei confronti del rapporto di utilizzazione della verifica, espresso in generale come:

$$\rho = \frac{E_d}{R_d} = \frac{E_d}{\frac{R_k}{\gamma_M}}$$


Con  $E_d$  azione sollecitante di progetto

$R_d$  resistenza di progetto, pari a  $\frac{R_k}{\gamma_M}$

$R_k$  resistenza caratteristica del materiale

$\gamma_M$  coefficiente parziale di sicurezza del materiale

 **ATTENZIONE:** le verifiche riportate non supportano sezioni di classe 4.

 **ATTENZIONE:** nella lista di materiali *Alloy* nel programma sono riportate le leghe di alluminio più utilizzate. Prestare attenzione alle sigle per la scelta del materiale al fine di selezionare la lega più adatta agli elementi utilizzati.

SH - Lamiera (EN 485)

ST - Nastro (EN 485)  
 PL - Piastra (EN 485)  
 ET - Tubo estruso (EN 755)  
 EP - Profilati estrusi (EN 755)  
 ER/B - Tondi e barre estrusi (EN 755)  
 DT - Tubo trafilato (EN 754)  
 FO - Fucinati (EN 586)

*Valutazione della classe della sezione*

Conservativamente, la classe di ogni sezione è valutata come la massima classe fra tutte le parti della sezione considerate puramente compresse (*te* significa spessore della sezione).

<b>Tipo sezione</b>	<b>Parte</b>	<b>Rapporto</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>
<b> Rettangolari</b>		/			<i>sempre</i>
<b> Doppio T, T, C</b>	anima	$0.9(h-tf1)/tw$	$\beta1$	$\beta2$	$\beta3$
	ali	$0.9(b/2-tw)/tf1$	$\beta1$	$\beta2$	$\beta3$
<b> Angolari</b>	anima	$h_{max}/te$			$\beta3$
	ali	$(b+h)/(2te)$			$\beta3$
<b> Box</b>	anima	$(h-2te)/te$	$\beta1$	$\beta2$	$\beta3$
	ali	$(b-2te)/te$	$\beta1$	$\beta2$	$\beta3$
<b> Tubi*</b>		$3\sqrt{D/te}$	$\beta1$	$\beta2$	$\beta3$
<b> Barre</b>		/		<i>sempre</i>	
<b> Generiche</b>		/			<i>sempre</i>

I valori  $\beta1$ ,  $\beta2$ ,  $\beta3$  vengono calcolati considerando i rapporti  $\beta/\epsilon$ , riportati nella tabella sottostante, moltiplicati per il parametro  $\epsilon$  definito come segue:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}}$$

Per le ali delle sezioni si fa riferimento ai coefficienti per le parti esterne, per le anime e pareti delle sezioni si fa invece riferimento ai coefficienti per le parti interne.  
 La normativa prevede coefficienti diversi per sezioni saldate e non saldate. La classificazione delle sezioni è stimata assumendo di default le sezioni senza saldature. È possibile forzare la variabile *welded=1* prima di eseguire le verifiche per considerare tutte le sezioni come saldate. Per forzare la verifica per sezioni saldate SOLO alle estremità delle travi, settare la variabile *weldedEnds=1*.

**⚠ ATTENZIONE:** per la verifica delle sezioni saldate, la procedura utilizza il valore  $f_0$ HAZ dalla libreria *Alloy* del programma. Nel caso venisse utilizzato un materiale non di libreria, aggiungere la riga " $f_0$ HAZ=xxx" nella casella di testo della maschera *Verifiche*, con  $f_0$ HAZ in MPa.

	Classe di durabilità	Parte interna			Parte esterna		
		$\beta1/\epsilon$	$\beta2/\epsilon$	$\beta3/\epsilon$	$\beta1/\epsilon$	$\beta2/\epsilon$	$\beta3/\epsilon$
senza saldature	A	11	16	22	3	4.5	6
	B	13	16.5	18	3.5	4.5	5
con saldature	A	9	13	18	2.5	4	5
	B	10	13.5	15	3	3.5	4

Il nome della colonna nel programma viene presentato fra parentesi (es. *(StabilitàEuleriana)*). Nelle seguenti formule si fa riferimento a  $f_0$  (o  $f_0$ HAZ) come  $f_{yk}$ .

Trazione/compressione (Assiale)

In trazione:

$$\rho_N = \frac{N}{N_{Rd}} = \frac{N}{\frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}}$$

In compressione (stabilità euleriana):

$$\rho_{Nb} = \frac{N}{N_{b,Rd}} = \frac{N}{\frac{\chi_{\min} Af_{yk}}{\gamma_{M1}}}$$

con  $\chi_{\min}$  ottenuto da paragrafo 4.2.4.1.3.1 delle NTC2008. Le curve di instabilità sono scelte concordemente alla lega di alluminio selezionata, concordemente a quanto previsto dal prospetto 6.5 dell'Eurocodice 9. Il parametro  $k$  di prospetto 6.5 dell'Eurocodice 9 è sempre assunto pari a 1.

Taglio semplice (Taglio)

$$\rho_V = \frac{V}{V_{Rd}} = \frac{V}{\frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}}$$

Flessione semplice (con interazione taglio/momento) (Flessione)

$$\rho_{Mrid} = \frac{M}{\alpha_{PL} \cdot W \cdot f_{yk} \cdot \cos(\rho_N)} = \frac{M}{M_{Rd} \cdot \cos(\rho_N)} \text{ se il taglio sollecitante non supera il 30\% di quello resistente plastico}$$

$$\rho_{Mrid} = \frac{M}{M_{Rd,red}}, \text{ con } M_{Rd,red} = M_{Rd} \left(1 - \min((2\rho_V - 1)^2, 1)\right) \text{ se il taglio sollecitante supera il 50\% di quello resistente, } M_{Rd,red} = M_{Rd} \text{ altrimenti.}$$

Pressoflessione biassiale (Pressoflessione\_inst) e tensoflessione biassiale (Tensoflessione\_biax)

Se l'elemento è compresso, le verifiche a instabilità sono eseguite secondo la procedura semplificata A delle NTC2008.

$$\rho_{MNb} = \frac{\rho_N}{\chi_{\min}} + \frac{\rho_{M_y}}{r_{ridN_{cr}}} + \frac{\rho_{M_z}}{r_{ridN_{cr}}} \text{ con } r_{ridN_{cr}} = 1 - \frac{\rho_N \bar{\lambda}^2}{\gamma_{M0}}$$

Se l'elemento è teso:

$$\rho_{MNb} = \rho_N + \rho_{M_y} + \rho_{M_z}$$

## Elementi in calcestruzzo armato

In questo capitolo sono descritte le verifiche svolte da *NextFEM Designer* per le membrature in calcestruzzo armato.

A: Area

Jz: **inerzia rispetto all'asse Z della sezione**

Jy: **inerzia rispetto all'asse Y della sezione**

Jt: inerzia torsionale

D: diametro esterno sezione

b: base della sezione per tutte le sezioni generiche

h: altezza della sezione per tutte le sezioni generiche

tw: **spessore dell'anima**

tf1: spessore della flangia superiore

tf2: spessore della flangia inferiore

t: spessore delle sezioni per elementi piani

N: forza assiale

V: Taglio generico lungo un asse della sezione

Vy: Taglio lungo Y

Vz: Taglio lungo Z

Mt: Momento torcente

M: Momento generico attorno ad un asse della sezione

Myy: **Momento attorno all'asse Y**

Mzz: **Momento attorno all'asse Z**

Em: modulo di Young del materiale

Gm: modulo di taglio del materiale

Nlm: coefficiente di Poisson del materiale

fk: resistenza caratteristica del materiale

WelZ: modulo resistente in direzione Z

WelY: modulo resistente in direzione Y

WplZ: modulo resistente plastico in direzione Z

WplY: modulo resistente plastico in direzione Y

iz: **raggio d'inerzia per l'asse Z**

iy: **raggio d'inerzia per l'asse Y**

imin: **raggio d'inerzia minimo**

bwY: larghezza minima della sezione in direzione locale y

bwZ: larghezza minima della sezione in direzione locale z

ds: altezza utile della sezione

Astot: area totale di armatura in sezione

AsTens: area di armatura tesa

fyks: resistenza caratteristica armatura a taglio (staffe)

fydl: resistenza di progetto delle barre longitudinali

rebCmin: distanza minima fra bordo e centro armatura longitudinale

isWall: pari a 1 se la sezione è di una parete, 0 altrimenti

AmbCondition: condizioni ambientali per verifiche in esercizio (1,2,3)

mNt: duttilità a trazione della sezione per cerniere plastiche

mNc: duttilità a compressione per cerniere plastiche

mVy: duttilità a taglio in direzione locale y per cerniere plastiche

mVz: duttilità a taglio in direzione locale z per cerniere plastiche

mMt: duttilità torsionale per cerniere plastiche

mMy: **duttilità a flessione attorno all'asse locale y per cerniere plastiche**

mMz: **duttilità a flessione attorno all'asse locale z per cerniere plastiche**

NbH: resistenza massima a compressione elemento per cerniere plastiche

MtH: resistenza a torsione al limite elastico per cerniere plastiche.

Tutte le formule riportate sono esplicitate nei confronti del rapporto di utilizzazione, espresso in generale come:

$$\rho = \frac{E_d}{R_d} = \frac{E_d}{\frac{R_k}{\gamma_M}}$$

Con  $E_d$  azione sollecitante di progetto

$R_d$  resistenza di progetto, pari a  $\frac{R_k}{\gamma_M}$

$R_k$  resistenza caratteristica del materiale

$\gamma_M$  coefficiente parziale di sicurezza del materiale

*Stabilità in compressione*

$$\rho_{slend} = \frac{\max\left(\frac{L_{0y}}{i_y}, \frac{L_{0z}}{i_z}\right)}{25} \cdot \sqrt{\frac{|N|}{A \cdot f_{cd}}}$$

*Taglio per elementi non armati*

Per ogni direzione locale y e z:

$$V_{rd} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (\nu_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\}$$

$$\text{con } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} \leq 2 \quad \nu_{\min} = 0.035 k^{1.5} f_{ck}^{0.5} \quad \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} \quad \sigma_{cp} = \min \left( \frac{N}{A_{cls}}, 0.2 f_{cd} \right)$$

*Taglio per elementi armati*

Per ogni direzione locale y e z:

$$V_{Rsd} = 0.9 d \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot 0.5 f_{cd} \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

*Tenso/pressione/flessione*

La verifica a flessione, sia semplice che deviata, viene condotta sulla scorta della resistenza per ogni direzione, separatamente.