

ANALISI TERMICA DELLA SEZIONE

Programma

ATS

per personal computer

Manuale introduttivo
(Gennaio 2025)

Sono vietate le riproduzioni non autorizzate

Le eventuali riproduzioni di tutto o parte del presente documento dovranno riportarne ben evidenziato l'autore qui sotto riportato.

PRESENTAZIONE

Il programma esegue l'analisi termica della sezione e calcola i domini di interazione N-Mx, N-My, N-Mx-My allo stato limite ultimo, per sezioni generiche composte da materiali diversi: calcestruzzo, acciaio, materiale generico resistente, materiale generico non resistente, aria.

Il programma esegue inoltre la verifica a taglio di sezioni in c.a.

La mappatura termica è fatta in regime variabile conformemente alle curve nominali di esposizione al fuoco.

Il dominio di interazione allo stato limite è calcolato tenendo conto della diversa resistenza dei materiali in funzione della temperatura.

L'AUTORE DEL PROGRAMMA ATS
ing. Tiziano Gaddi

GADDI software
via Di Era 15
23826 Mandello del Lario (LC)
ITALIA

e-mail gaddissoftware@tin.it
web: www.gaddissoftware.it

CARATTERISTICHE DEL PROGRAMMA E AVVERTIMENTI PER L'USO

Il programma non è garantito dagli autori né loro rappresentanti. Gli autori non garantiscono che le funzioni contenute nel programma soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le loro combinazioni. L'utente dovrà inoltre controllare il programma ed ovviare a proprie spese ad eventuali errori o malfunzionamenti.

Il programma può funzionare solo con l'ausilio del supporto su cui viene fornito.

La perdita o l'alterazione del programma o di parte di esso, o del supporto, non dà diritto alla loro sostituzione. L'utente è responsabile della buona conservazione del programma e del supporto.

SIMBOLOGIA

Co	= conducibilità termica
Ca	= calore specifico
dm	= densità di massa
dx	= dimensione in x degli elementi di suddivisione (mesh)
dy	= dimensione in y degli elementi di suddivisione (mesh)
t	= tempo
T	= temperatura
To	= temperatura iniziale
Tfc	= temperatura fronte caldo
Tff	= temperatura fronte freddo
θ	= temperatura
θ_0	= temperatura iniziale
θ_{fc}	= temperatura fronte caldo
θ_{ff}	= temperatura fronte freddo
xG	= ascissa baricentro
yG	= ordinata baricentro
β	= rapporto tra la temperatura reale e quella nominale
h	= coefficiente di convezione
ϵ_{es}	= coefficiente di irraggiamento

Moduli elastici

Ec	= modulo elastico calcestruzzo
Ea	= modulo elastico acciaio da carpenteria
Es	= modulo elastico acciaio per armature
Ep	= modulo elastico cavi di precompressione

Resistenze caratteristiche

Rck	= resistenza caratteristica (cubica) calcestruzzo
fck	= resistenza caratteristica calcestruzzo
fak	= resistenza caratteristica acciaio da carpenteria
fsk	= resistenza caratteristica acciaio in barre
fpk	= resistenza caratteristica cavi di precompressione

Resistenze di progetto

Fd	= resistenza di progetto
fcd	= resistenza di progetto calcestruzzo
fad	= resistenza di progetto acciaio da carpenteria
fsd	= resistenza di progetto acciaio in barre
fpd	= resistenza di progetto cavi di precompressione

Coefficienti di sicurezza materiali

γ_c = coefficiente di sicurezza materiale calcestruzzo

γ_a = coefficiente di sicurezza materiale acciaio da carpenteria

γ_s = coefficiente di sicurezza materiale acciaio in barre

γ_p = coefficiente di sicurezza materiale cavi di precompressione

Deformazioni

ε = deformazione assiale

c = curvatura

ε_z = deformazione assiale in direzione z

c_x = curvatura attorno all'asse y

c_y = curvatura attorno all'asse x

Sollecitazioni

N = azione assiale

N_z = azione assiale parallela a z

M_x = momento flettente che ruota da x a z

M_y = momento flettente che ruota da y a z

Capitolo 1

INTRODUZIONE ALLA VERSIONE 16.00

1.1) Premessa

Questo manuale introduce all'uso di ATS.

1.2) Aggiornamenti

1.2.1) Aggiornamento alla versione 6.51

Con la versione 6.51 sono state apportate le seguenti modifiche, aggiunte e miglioramenti.

- E' stato riprogrammato il software per la generazione della mesh. ATS fornisce ora una mesh automatica più precisa e veloce. Sono ovviamente mantenute tutte le caratteristiche delle versioni precedenti.
- Il menu è stato completamente rivisto, adottando una filosofia diversa da quella delle versioni precedenti, si è abbandonata quasi completamente la tecnica di introduzione dati in "cascata". Con questa nuova versione l'introduzione dati resta più libera e più indipendente, ovviamente si richiede da parte dell'utente più attenzione soprattutto nella modifica di sezioni già assegnate. Ad esempio, se si modifica il tipo di materiale bisogna ricordarsi di modificare pure i dati relativi alle sue grandezze per l'analisi termica e statica. Un'altra situazione da fare attenzione si ha quando si usa un documento (dati di un esempio) per impostare un altro documento, ATS mantiene tutti i dati del vecchio documento, compreso quelli disabilitati. È bene in questi casi che l'utente rivisiti tutti i dati con accesso a tutti i menu dell'input (menu INSERISCI).
- Questa nuova versione è stata pure "aggiornata" alla normativa UNI edizione maggio 2001. Per i nuovi documenti i parametri termici e le curve di degrado dei materiali sono preassegnati secondo tale normativa (con riferimento al solo materiale calcestruzzo per i parametri termici). Le curve di degrado $f_k(T)/f_k(T_{20})$ per l'ARMATURA 1 sono quelle dell'acciaio tipo 1 della UNI mentre le curve di degrado per l'ARMATURA 2 sono quelle dell'acciaio tipo 2 della UNI. Per le armature di precompressione sono preassegnate le curve di degrado dell'acciaio armonico (fili, trecce e trefoli) indicate nella UNI. Le curve di degrado del modulo elastico $E(T)/E(T_{20})$ sono assunte uguali a quelle della resistenza $f_k(T)/f_k(T_{20})$. Per i documenti creati con le versioni precedenti il file dati è convertito alla nuova versione con nessuna modifica, l'aggiornamento dei parametri termici avviene solo dietro comando dell'utente: INSERISCI \ AGGIORNA PARAMETRI successivo all'apertura di ogni documento. Ovviamente le eventuali modifiche apportate ai valori dei parametri e delle curve precedenti sono mantenute (salvo nuovo comando di aggiornamento).

1.2.2) Aggiornamento alla versione 7.00

Con la versione 7.00 sono state apportate le seguenti modifiche, aggiunte e miglioramenti.

- Gli stili, per la visualizzazione grafica, possono essere salvati su di un file e richiamati dal file in qualunque momento durante l'elaborazione. I comandi permettono all'utente di crearsi uno o più

file di stile ed applicarlo al documento in elaborazione a secondo dell'esigenza. I comandi di menu sono alle voci **Unità\Stili\Carica_stili...** e **Unità\Stili\Salva stili...**

- La mappa delle temperature nella modalità a colori si può fare con i colori degli stili dell'utente o con i colori prefissati da ATS. I comandi di menu sono alle voci **Inserisci\Opzioni\Modo colori temperature**
- È possibile assegnare una serie di sollecitazioni che vengono inserite graficamente nei domini per la verifica numerica e grafica. I comandi di menu sono alle voci **Inserisci\Sollecitazioni di verifica.**
- Con questa nuova versione è disponibile:
 - il calcolo del dominio N–Mx, dominio retto in direzione trasversale;
 - il calcolo del dominio N–Mx–My, dominio in flessione deviata a N costante;
 - il calcolo del dominio N–Mx–My 3D, dominio in flessione deviata spaziale nelle tre dimensioni a N, Mx, My;
 oltre ad un miglioramento nel calcolo dei domini.
- Con questa nuova versione è disponibile la verifica allo stato limite a taglio della sezione in c.a.

1.2.3) Aggiornamento alla versione 8.00

Con la versione 8.00 sono state apportate le seguenti modifiche, aggiunte e miglioramenti.

- Il menu è stato rivisto e migliorato;
- Sono disponibili i file di AutoLoad per l'inserimento automatico di:
 - sezioni geometriche;
 - armature ordinarie delle sezioni;
 - armature di precompressione delle sezioni;
 - caratteristiche materiale calcestruzzo;
 - caratteristiche materiale acciaio;
 - caratteristiche materiale armature di precompressione;
- Sono disponibili più curve di resistenza dei materiali per il calcolo dei domini resistenti;
- Vrd3 può essere calcolato con l'opzione "almeno il 50% alle staffe";
- Le staffe, nella verifica a taglio, possono essere inclinate nel piano della sezione.

1.2.4) Aggiornamento alla versione 8.80

Con la versione 8.80 è stato aggiunto il calcolo di scambio termico per irraggiamento per le pareti dei vuoti interni (dichiarati aria) in aggiunta allo scambio termico convettivo_ irradiante dell'aria stessa del vuoto interno e le pareti che la circondano.

Per il generico vuoto interno dichiarato aria si considera l'irraggiamento delle pareti, cioè si assegna un coefficiente di emissione/assorbimento (delle pareti) C_e non nullo, la poligonale di contorno del "materiale aria" deve essere obbligatoriamente concava.

1.2.5) Aggiornamento alla versione 9.00

Con la nuova versione **ATS** può leggere i dati di input da un file di testo, il comando di menu è lo stesso utilizzato per caricare i dati da un normale file dati che si trova alla voce **File\Apri**. **ATS** può pure restituire i dati di input su un file di testo, il comando di menu è alla voce **File\Esporta il file di scambio**. Questo tipo di file è denominato **File di scambio** e ha come estensione preimpostata **.Fds** che è bene mantenere per un più facile riconoscimento di questi tipi di file. Il file di scambio non contiene né il file delle unità di misura né il file degli stili, quando si caricano i dati da un file di scambio sono mantenuti gli stili e le unità di misura correnti; se necessario bisogna ricaricarli appositamente. Le specifiche per l'uso del file di scambio sono riportate nel manuale **ATS_FileDiScambio.DOC**.

1.2.6) Aggiornamento alla versione 10.00

Con la versione 10.00 il programma ATS è aggiornato con riferimento al D.M. 14GEN2008 e all'Eurocodice 2004, in particolare:

- il calcolo della mappatura termica può essere impostato con i parametri termici dell'Eurocodice;
- il calcolo della resistenza può essere impostato con i parametri statici dell'Eurocodice, e condotto sia nell'impostazione classica (vedi versioni precedenti) che nella nuova impostazione "estesa" che può tenere conto anche dell'allungamento dei materiali per effetto della temperatura;
- la verifica a taglio è fatta con riferimento al modello a traliccio per elementi che richiedono armatura a taglio;
- sono disponibili le curve di resistenza dei materiali, proposte dalle nuove norme, per il calcolo dei domini resistenti.

Sono inoltre apportate le seguenti modifiche, aggiunte e miglioramenti:

- sono eliminati i file di AutoLoad per:
 - caratteristiche materiale calcestruzzo;
 - caratteristiche materiale acciaio;
 - caratteristiche materiale armature di precompressione;
 mentre restano i file di AutoLoad per:
 - sezioni geometriche;
 - armature ordinarie delle sezioni;
 - armature di precompressione delle sezioni;
- sono potenziati i comandi di AutoSet per l'assegnazione dei dati.

1.2.7) Aggiornamento alla versione 10.30

Con la versione 10.30 (compatibile con Windows 7):

- nella verifica a taglio l'utente può assegnare il valore della $\text{Cotg}(\theta)$;
- è possibile creare un file grafico *.GIF, per le varie finestre di ATS, leggibile dal CadNostrum (proprietario) ed attraverso lo stesso CadNostrum gestire il disegno oppure creare un file DXF.

1.2.8) Aggiornamento alla versione 11.00

Con la versione 11.00 sono disponibili le curve di esposizione al fuoco:

- curva di incendio nominale standard (vedi precedenti versioni);
- curva di incendio nominale degli idrocarburi;
- curva di incendio nominale esterna.

Con la nuova versione è inoltre disponibile l'opzione per la stampa in lingua inglese. Con il menù **File\Lingua\...** si può predisporre per la stampa dei dati e dei risultati in italiano o in inglese.

1.2.9) Aggiornamento alla versione 12.00

Con la versione 12.00 ATS può leggere i dati di input da un file di scambio **.Fds** in modo parziale mantenendo inalterati i dati non coinvolti. Questo permette e facilita lo scambio automatico di dati dal programma **CAP3** di analisi delle travi precomprese. Comando **Inserisci\Importa file Fds**.

1.2.10) Aggiornamento alla versione 13.00

Il programma è stato rivisto sulla base del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

1.2.11) Aggiornamento alla versione 14.00

- Con la versione 14 è possibile la verifica a taglio per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.
- Con questa versione la parte grafica è gestita dall'applicazione **CadNostrum** separata da ATS. Con CadNostrum è possibile intervenire sui grafici, stamparli e/o salvarli in formato DXF. Vedi manuale introduttivo del programma grafico CadNostrum.
- E' stato eliminato il file degli stili.

1.2.12) Aggiornamento alla versione 14.20

- Con la versione 14.20 è possibile la verifica a taglio per elementi aventi l'asse dell'anima inclinata rispetto alla verticale

1.2.13) Aggiornamento alla versione 15.00

- Sono state aggiunte le curve di incendio:
 - curva "EUREKA" RABT ZTV (train);
 - curva "EUREKA" RABT ZTV (car);
 - curva RWS (Rijkswaterstaat);
 - curva idrocarburi modificata (HCM).
- Sono aggiunti i grafici delle curve di incendio.
- Sono state apportate modifiche e miglioramenti alle finestre di dialogo.

1.2.14) Aggiornamento alla versione 16.00

- Nella versione 16 le curve di resistenza dei materiali disponibili in ATS sono quelle dell'Eurocodice EN 1992-1-2:2023(E) e EN 1993-1-2:2024(E). Sono state definitivamente abbandonate, in ATS, le curve di resistenza a freddo quali parabola-rettangolo, ecc., non più a norma nelle verifiche di resistenza al fuoco.

FARE ATTENZIONE

Caricando un file dati di versioni precedenti, alcuni dati (e/o impostazioni e/o delle opzioni) sono assegnati al valore di default mentre altri sono assegnati a zero o non assegnati. È importante che caricando un file dati di versioni precedenti l'utente riassegni e riverifichi, comunque, tutti i dati di input.

1.3) Introduzione all'uso

1.3.1) Criteri d'uso del programma

Il programma ATS è un programma estremamente potente e versatile che permette il calcolo di verifica al fuoco di generiche sezioni. Un adeguato uso di ATS porterà ad un risparmio di calcolo non indifferente se si avrà la costanza di costruirsi, pian piano nel tempo, un corposo data base tipologico. Fondamentale è lo sfruttamento della tecnologia usata in ATS, che permette di codificare la maggior parte delle grandezze che descrivono la sezione nonché i materiali. Maggiori dettagli sono forniti più avanti.

1.3.2) Preparazione all'uso di ATS

Per un razionale e veloce uso di ATS è opportuno preparare i file dati di AutoLoad che permettono di assegnare rapidamente i dati richiesti dal programma. Questi file non sono necessari ma molto utili per l'uso di ATS.

I file di AutoLoad da mettere a disposizione di ATS sono:

- AutoLoad-ATS.SEZ per le sezioni;
- AutoLoad-ATS.ARM per le armature ordinarie delle sezioni;
- AutoLoad-ATS.CAV per le armature di precompressione delle sezioni;
- AutoLoad-ATS.UDM per le unità di misura.

Brevi esempi sono presenti nei file installati. Per le spiegazioni vedere più avanti.

Il file AutoLoad delle unità di misura, se presente nella opportuna directory, viene caricato all'apertura di ogni documento.

1.4) L'uso dei menu

L'introduzione dei dati è agevolata dai menu e dalle finestre di dialogo. Questi permettono di eseguire le varie operazioni senza un ordine rigido. Basta mantenere una sequenza logica relativa ai dati strutturali.

Per la maggior parte delle finestre di dialogo è possibile avvalersi di ulteriori aiuti tramite i menu contesto attivabili con il tasto destro del mouse.

Per le finestre grafiche è possibile avvalersi di aiuti tramite i menu contesto attivabili con il tasto destro del mouse, generalmente l'operazione così selezionata è da completare con l'uso del mouse.

Nel menu Disegno sono presenti, tra l'altro, i comandi di modifica degli stili, necessari per una migliore visualizzazione grafica degli oggetti. In ATS sono usati più moduli grafici (o finestre), per ognuno di questi moduli gli stili sono indipendenti.

1.5) Come comporre una relazione

I dati e/o risultati dell'analisi possono essere "stampati" su carta oppure in formato PDF.

Possono anche visualizzarsi con il comando di menu **Analisi\VisualizzaDatiERisultati** (o analoghi per soli dati o i soli risultati), poi selezionare il testo con il mouse (o analogo) tenendo premuto il tasto di sinistra e trascinando e copiare il testo selezionato nella clip con i tasti **Ctrl+C** (Copia) quindi incollare in un "programma" di testi quale ad esempio **Word** con il comando **Ctrl+V** (Incolla).

Per i grafici vedi manuale introduttivo del programma grafico CadNostrum. È comunque possibile usare uno strumento di cattura quale ad esempio **Snipping Tool** per selezionare il grafico e incollarlo nel "programma" di testi con il comando **Ctrl+V** o analogo (Incolla).

Capitolo 2

IL PROGRAMMA ATS

2.0) Premessa

Il programma **ATS** può leggere i dati di input da un file di scambio **.Fds** in modo parziale mantenendo inalterati i dati non coinvolti. Questo permette e facilita lo scambio automatico di dati, come ad esempio dal programma **CAP3** di analisi delle travi precomprese. Il comando è **Inserisci\Importa file Fds**.

I parametri necessari per il calcolo possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di **AutoSet** e **AutoSetDati**. Il comando **AutoSet** e **AutoSetDati** di **ATS** assegna ai parametri dei valori generalmente in linea con la normativa, resta comunque sempre a carico dell'utente il controllo di questi dati. Occorre quindi verificare da parte dell'utente che i dati assegnati da **ATS** soddisfino le proprie esigenze anche in funzione del caso trattato.

2.1) Introduzione

Il programma **ATS** esegue l'analisi termica di sezioni composte da uno o più materiali poste nell'ambiente (aria). Sono previsti due tipi di fronti con scambio di calore con l'ambiente: quello caldo dove l'aria mantiene la temperatura dell'incendio di progetto secondo la curva assegnata, quello freddo dove l'aria mantiene la temperatura iniziale. Lo scambio termico con l'ambiente è considerato del tipo convettivo e irradiante. La propagazione del calore all'interno dei materiali solidi è considerata conduttiva. Per i vuoti interni (aria) lo scambio di calore tra l'aria e la superficie di contatto è considerato del tipo convettivo e irradiante, con l'ipotesi che l'aria mantenga una temperatura pari alla media delle temperature della superficie di contatto. Di seguito all'analisi termica, il programma esegue l'analisi statica con il calcolo del dominio di interazione bidimensionale **N-Mx**, **N-My** e tridimensionabile **N-Mx-My**.

Sono previste, inoltre, le armature ordinarie e le armature di precompressione. Le armature ordinarie e di precompressione sono considerate puntiformi e senza massa, esse non intervengono nel calcolo delle temperature.

Le curve di incendio nominali assegnano la temperatura di esposizione al fuoco nel tempo, quelle considerate in **ATS** sono:

- $T(t) = T(0) + 345 \log_{10}(8t + 1)$ curva standard (ISO-834)
- $T(t) = T(0) + 1080 (1 - 0.325 e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t})$ curva degli idrocarburi (HC)
- $T(t) = T(0) + 660 (1 - 0.687 e^{-0.320t} - 0.313 e^{-3.8t})$ curva nominale esterna
- Vedi UNI 11076 curva di incendio UNI 11076
- $T(0)=15, T(5)=1200; T(60)=1200; T(170)=T(0)$ curva EUREKA RABT ZTV (train)
- $T(0)=15, T(5)=1200; T(30)=1200; T(140)=T(0)$ curva EUREKA RABT ZTV (car)
- $T(t) = T(0) + 1280 (1 - 0.325 e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t})$ curva idrocarburi modificata (HCM)
- (0)20, (3)890, (5)1140, (10)1200, (30)1300, (60)1350, (90)1300, (120)1200, (180)1200. curva RWS (Rijkswaterstaat)

essendo

t , il tempo di esposizione al fuoco, in minuti;

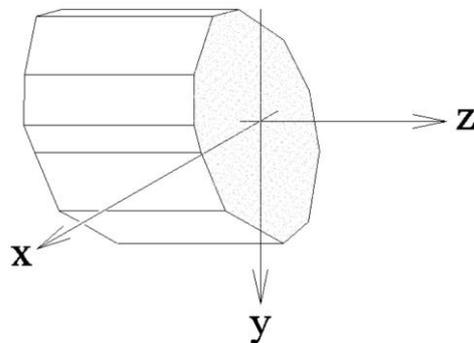
$T(t)$, la temperatura del forno al tempo t ;

$T(0)$, la temperatura del forno al tempo $t=0$, generalmente pari a 20°C .

Con il comando **Inserisci\Opzioni\Curve temperatura di incendio** è possibile selezionare la curva di incendio e visualizzare il grafico di tutte le curve di incendio.

Convenzioni

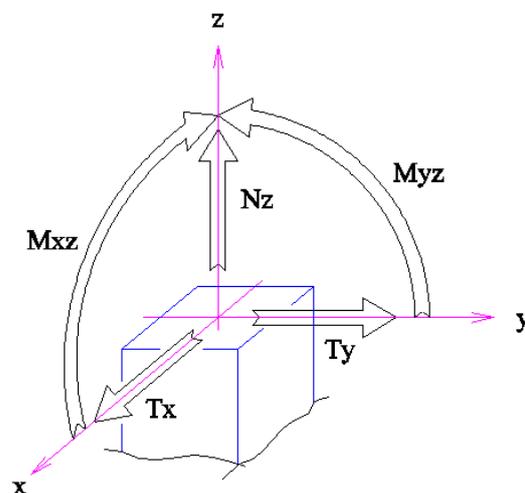
La sezione è riferita ad un sistema destrorso di assi x,y,z ortogonali, gli assi x,y posti nel piano della sezione con y verticale diretto verso il basso (nel disegno grafico), l'asse z normale e uscente dalla sezione.



L'azione assiale è positiva di trazione.

I momenti nel piano xz hanno verso positivo quando tendono le fibre a x positivo.

I momenti nel piano yz hanno verso positivo quando tendono le fibre a y positivo.



con:

T_x , azione in direzione x (verso $+x$);

T_y , azione in direzione y (verso $+y$);

N_z , azione assiale in direzione z , positiva se diretta come z (trazione);

M_{xz} , momento flettente nel piano xz , positivo se ruota da $+x$ a $+z$;

M_{yz} , momento flettente nel piano yz , positivo se ruota da $+y$ a $+z$.

I momenti sono indicati anche con M_x e M_y , con la seguente uguaglianza:

$$M_x = M_{xz}$$

$$M_y = M_{yz}$$

Le tensioni sono positive di trazione e negative di compressione.

Le deformazioni seguono le stesse convenzioni:

- ε = deformazione assiale, positiva di trazione
- c = curvatura
- ε_z = deformazione assiale in direzione z, positiva se diretta come z;
- c_x = curvatura attorno all'asse y, positiva con il verso da +x a +z;
- c_y = curvatura attorno all'asse x, positiva con il verso da +y a +z.

Le azioni e le sollecitazioni (N,Mx,My) nonché le deformazioni (ε_z, c_x, c_y) possono essere riferite (vedi Opzioni):

- all'origine degli assi xyz della sezione;
- al sistema di assi XYZ con origine nel baricentro geometrico e parallelo agli assi xyz della sezione.

2.2) Materiali componenti la sezione

I materiali componenti la sezione, per un massimo di dieci posizioni, hanno i seguenti codici e significati:

- 1 = Calcestruzzo
- 2 = Acciaio (carpenteria)
- 3 = Generico resistente
- 4 = Generico non resistente
- 5 = Aria

Il materiale posto nella prima posizione (numero d'ordine 1) è definito "MATERIALE BASE" ed in questa posizione non è ammesso il tipo Aria (codice 5).

Il dominio (o sezione) del materiale base deve contenere al suo interno i domini di tutti gli altri materiali. Il dominio di un materiale in posizione successiva alla prima deve essere contenuto nel dominio del materiale base e non può contenere altri domini al suo interno o con essi interferire. Le frontiere (contorno) dei domini non possono intersecarsi tra loro e devono mantenere una distanza minima; tale distanza dipende dalle dimensioni (dx,dy) dell'elemento di suddivisione di mesh.

I materiali Calcestruzzo, Acciaio, Generico resistente e Generico non resistente (codice 1,2,3,4) sono materiali solidi, il passaggio del calore al proprio interno avviene per conduzione secondo opportuni parametri assegnati nell'input dati, separatamente per ogni posizione (si possono avere più tipi dello stesso materiale con parametri termici e/o statici differenti).

Il materiale Aria (codice 5) è un materiale gassoso e lo scambio di calore con le pareti che lo circondano avviene per convezione ed irraggiamento (si possono avere più tipi di materiale Aria con parametri termici differenti). Inoltre, le pareti del materiale aria tra loro si scambiano calore per irraggiamento (vedi il coefficiente di emissione).

I materiali Calcestruzzo, Acciaio e Generico resistente (codice 1,2,3) sono materiali con resistenza meccanica, essi intervengono nel calcolo del dominio resistente (analisi statica); questi tipi di materiali sono differenti tra loro in quanto, oltre i parametri che li definiscono, è diverso il legame sforzo-deformazione σ - ε . I materiali Generico non resistente e Aria sono considerati senza resistenza meccanica ed intervengono solo nel calcolo delle temperature (analisi termica).

Accanto ai codici che identificano i tipi di materiale si può assegnare un nome descrittivo, serve per meglio identificare le varie parti componenti la sezione nel caso di più materiali.

2.3) Geometria sezione

In questa sessione si assegnano i dati dei domini dei materiali. La descrizione del dominio avviene attraverso l'assegnazione delle coordinate dei vertici della poligonale di frontiera (contorno) o con procedure semplificate. Il dominio del materiale base è descritto indipendentemente dagli altri materiali. Si assegnano inoltre le condizioni al contorno termiche per la sezione (dominio) base.

a) Descrizione geometria materiali sezione

La sezione (nel suo complesso) è riferita ad una terna destrorsa di assi xyz , di cui gli assi xy nel piano della sezione stessa e l'asse z normale uscente dalla sezione. A questo unico sistema di assi si devono quindi riferire i domini (contorni) dei vari materiali nelle diverse posizioni.

La frontiera (contorno) di ogni singolo dominio deve essere discretizzata e descritta da un'unica poligonale chiusa, e per questo sono da assegnare le coordinate dei vertici della poligonale o le dimensioni per le sezioni predefinite.

Per facilitare l'immissione dei dati relativi alla geometria dei domini ATS prevede i seguenti tipi di sezioni (domini):

- sezione generica;
- sez. rettangolare simmetrica rispetto all'asse y ;
- sez. rettangolare simmetrica rispetto agli assi xy ;
- sezione a T;
- sezione a T rovescio;
- sezione a L;
- sezione a L rovescio;
- sezione a I;
- poligonale inscritta;

salvo la generica, le altre sezioni elencate sono del tipo predefinito e la corrispondente poligonale descrittiva è generata da ATS.

Le sezioni di tipo generico devono avere il contorno (frontiera) schematizzabile con un'unica poligonale chiusa (domini semplicemente connessi), il dominio avente una frontiera formata da più linee chiuse (dominio molteplici connesso) non è ammesso. La numerazione dei vertici, da 1 a N , deve rispettare la convenzione che un osservatore il quale percorre la poligonale in direzione crescente della numerazione vede il dominio (area della sezione) alla sua sinistra (tale numerazione si definisce positiva). Si devono assegnare le coordinate di tutti i vertici. Il menù contesto mette a disposizione alcuni comandi che agevolano l'assegnazione dei dati, tra i quali la simmetria. Per le sezioni simmetriche generate con il comando di simmetria la numerazione deve rispettare quanto:

- per la sezione generica simmetrica rispetto all'asse x si devono assegnare i vertici del I e II quadrante, la numerazione inizia nel I quadrante;
- per la sezione generica simmetrica rispetto all'asse y si devono assegnare i vertici del IV e I quadrante, la numerazione inizia nel IV quadrante;
- per la sezione generica simmetrica rispetto agli assi xy si devono assegnare i vertici del I quadrante, la numerazione inizia nel I quadrante.

Non si possono descrivere come simmetriche quelle sezioni geometricamente simmetriche con un vertice sull'asse di simmetria (vedere Definizione Mesh).

Per le sezioni predefinite bisogna semplicemente assegnare le relative dimensioni come richiesto nell'input dati, ad esempio per la poligonale inscritta il diametro del cerchio relativo.

Per le sezioni definite come poligonali inscritte, l'uso di un numero eccessivo di vertici riduce la lunghezza degli spigoli; ciò comporta una riduzione delle dimensioni dell'elemento di suddivisione con conseguente aumento del numero degli elementi (vedere Definizione Mesh).

b) Condizioni al contorno

Per il materiale base restano da assegnare le condizioni al contorno. Per ogni spigolo (segmento di retta) della poligonale che descrive la frontiera, si deve assegnare un codice scelto dall'elenco riportato di seguito:

- 1 = fronte caldo
- 2 = fronte freddo
- 3 = fronte chiuso
- 4 = 2° fronte caldo

dove per "fronte caldo" si intende la parte di sezione a contatto con l'aria dell'ambiente soggetto all'incendio di progetto; per "fronte freddo" si intende la parte di sezione a contatto con l'aria che mantiene la temperatura iniziale; il "fronte chiuso" è un fronte attraverso il quale non passa calore (simmetria, ecc.); il "2° fronte caldo" è un fronte caldo ma con parametri di scambio termico diversi dal fronte con codice 1 (può essere usato, ad esempio, nel caso di superfici esposte al fuoco che in parte sono ricoperte da strati di materiale isolante di piccolo spessore).

2.4) Armature sezione

La sezione può essere armata con due gruppi di armature ordinarie e con un gruppo di armature di precompressione. Ogni gruppo di armature può contenere un certo numero di singole armature, comunque posizionate; il limite massimo del numero di armature per gruppo è indicato da ATS.

Ogni gruppo di armatura, armature ordinarie e cavi di precompressione, viene assegnato tramite il tipo di disposizione:

- disposizione generica, quando la geometria della posizione delle armature del gruppo ha, appunto, una disposizione generica; se la disposizione presenta simmetrie ATS agevola l'introduzione dei dati. Il comando di simmetria si attiva tramite il menu contesto previo aver selezionato le "righe" per la generazione della simmetria: simmetria rispetto all'asse x, simmetria rispetto all'asse y, simmetria rispetto agli assi xy;
- disposizione con campi predefiniti, quando le armature sono disposte secondo forme geometriche particolari. Sono previsti campi a disposizione lineare, rettangolare, circolare ed ellittica.

Si devono assegnare le coordinate e l'area di ogni singola armatura:

- x : ascissa armatura;
- y : ordinata armatura;
- a : area armatura.

Per i cavi di precompressione, in aggiunta ai dati precedenti, si devono assegnare:

- alfa: angolo formato dall'asse del cavo con l'asse della trave (asse z della sezione);
- sigma: la tensione elastica del cavo, al tempo iniziale $t_0=0$ dell'analisi termica, tensione misurata lungo l'asse del cavo, tensione che si ipotizza nel campo lineare.

Per ogni campo scegliere il tipo appropriato, definire il numero delle barre di armatura, il diametro della singola barra, la posizione della forma geometrica e le sue dimensioni, come richiesto da ATS.

2.5) Parametri termici

a) Scambio termico con l'ambiente

Lo scambio termico con l'esterno, cioè lo scambio termico tra la superficie esterna della sezione e l'aria a diretto contatto, è considerato del tipo convettivo e irradiante. I parametri termici che governano il fenomeno sono il coefficiente di convezione (C_c) ed il coefficiente (geometrico) di irraggiamento (C_i).

Per il fronte caldo, occorre assegnare:

- C_c , coefficiente di convezione;
- C_i , coefficiente di irraggiamento;
- T_0 , temperatura iniziale; cioè la temperatura dei materiali componenti la sezione e dell'ambiente circostante al tempo $t_0=0$, generalmente 20°C ;
- β , rapporto tra la temperatura reale del fronte caldo e la temperatura definita dalla curva nominale (a norma di regolamento questo valore è da assegnare a 1.00).

Per il fronte freddo, occorre assegnare:

- C_c , coefficiente di convezione;
- C_i , coefficiente di irraggiamento;

relativi allo scambio termico delle superfici a contatto con il fronte freddo. Il fronte freddo si suppone inizialmente alla temperatura T_0 del fronte caldo prima indicata e che si mantenga tale per tutta la durata dell'incendio, indipendentemente dalla temperatura raggiunta sul fronte caldo.

Per il 2° fronte caldo, se dichiarato, occorre assegnare:

- C_c , coefficiente di convezione;
- C_i , coefficiente di irraggiamento;

relativi allo scambio termico delle superfici a contatto con il fronte caldo ma con parametri di scambio termico diversi dal fronte con codice 1.

I parametri sopra detti possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet. Il comando di AutoSet assegna ai parametri dei valori generalmente in linea con la normativa, resta comunque a carico dell'utente il controllo di questi dati.

b) Scambio termico nei materiali solidi

Il passaggio di calore all'interno dei vari materiali solidi è considerato di tipo conduttivo. I parametri termici che governano il fenomeno, da assegnare per ogni materiale solido componente la sezione, sono:

- $C_o(T)$, conducibilità termica;
 - $C_a(T)$, calore specifico;
 - $D_m(T)$, densità di massa.
- generalmente funzioni della temperatura.

Il programma considera la generica funzione $V=V(T)$ (rappresentante i vari parametri) come funzione lineare a tratti, definita in $n=13$ posizioni T_i di temperatura dai valori V_i ($i=1,n$). Per valori della

temperatura minori di T_1 è considerato il valore costante V_1 , per temperature maggiori di T_n è considerato il valore V_n , per temperature intermedie è eseguita l'interpolazione lineare. La funzione $V=V(T)$ risulta dunque:

$$\begin{aligned} - V(T) &= V_1 && \text{per } T \leq T_1; \\ - V(T) &= V_i + (V_{i+1} - V_i) \cdot (T - T_i) / (T_{i+1} - T_i) && \text{per } T_i \leq T \leq T_{i+1}, i=1, n-1; \\ - V(T) &= V_n && \text{per } T \geq T_n. \end{aligned}$$

Sono da assegnare i valori dei vari parametri nelle posizioni T_i di temperatura, tenendo conto che non sono ammessi valori negativi o nulli. Deve inoltre risultare $T_i < T_{i+1}$.

Le funzioni $Co(T)$, $Ca(T)$ e $Dm(T)$ possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSetDati presente nella relativa finestra di dialogo. Il comando di AutoSetDati assegna alle funzioni dei valori generalmente in linea con la normativa, resta comunque a carico dell'utente il controllo di questi dati.

Per i parametri Co , Ca e Dm vedere EN 1992-1-2:2023 (E) §5 Material properties. Per il materiale Acciaio da carpenteria vedere EN 1993-1-2:2024 (E) §5 Material properties.

c) Scambio termico nei vuoti interni

Il passaggio di calore all'interno dei vuoti interni (aria) è considerato di tipo convettivo e irradiante con scambio di calore tra le pareti e l'aria, ed irradiante tra la superficie delle pareti. La temperatura dell'aria è assunta pari alla media delle temperature della superficie a contatto.

I parametri termici (che governano il fenomeno così come schematizzato, vedere ipotesi di calcolo) da assegnare per ogni materiale gassoso componente la sezione, sono il coefficiente di convezione Cc e il coefficiente di irraggiamento Ci per il vuoto interno (aria) ed il coefficiente di emissione Ce per le pareti che contornano il vuoto interno (aria).

Il coefficiente Ce di emissione/assorbimento del materiale delle pareti assumerà il valore 0 per corpo non emissivo, 1 per corpo nero emissivo. Il coefficiente di assorbimento è assunto pari al coefficiente di emissione.

Altri tipi di corpi e superfici quali:

- corpo opaco: emissione, assorbimento e riflessione;
- corpo grigio: potere assorbente costante con la frequenza;
- corpo non liscio (macroasperità della superficie): riflessione diffusa;

non sono supportati. ATS supporta solo corpo non emissivo o corpo nero emissivo.

Sono da assegnare:

- Cc , coefficiente di convezione;
- Ci , coefficiente di irraggiamento;
- Ce , coefficiente di emissione/assorbimento.

Per il generico vuoto interno dichiarato aria, se si considera l'emissione/assorbimento delle pareti, cioè si assegna un coefficiente di emissione/assorbimento (delle pareti) Ce non nullo, la poligonale di contorno deve essere obbligatoriamente concava.

d) Quantità di acqua libera nel calcestruzzo

Quando la temperatura in un elemento di mesh raggiunge i 100 gradi centigradi l'acqua libera contenuta incomincia ad evaporare. ATS tiene conto dell'energia necessaria per il cambiamento di fase dell'acqua, l'energia entrante nell'elemento viene sottratta e ceduta all'acqua libera sino che l'acqua

libera contenuta non risulta completamente evaporata. Durante questa fase la temperatura nell'elemento di mesh non aumenta.

2.6) Curva temperatura di incendio

Con il comando **Inserisci\Curva di incendio** si seleziona la curva di incendio per il calcolo.

2.7) Grandezze meccaniche dei materiali

I materiali componenti la sezione, dichiarati con codice compreso tra 1 e 3 (Calcestruzzo, Acciaio carpenteria, materiale Generico resistente) intervengono assieme alle armature nel calcolo del dominio resistente della sezione, anche attraverso le proprie grandezze meccaniche.

a) Materiale calcestruzzo

Per il materiale calcestruzzo (codice 1), sono richiesti i valori a temperatura ambiente di:

- R_{ck} , resistenza caratteristica cubica a compressione;
- E_c , modulo elastico normale alla temperatura ambiente;
- γ_c , coefficiente di sicurezza del materiale;

Questi dati possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet o di Selezione classe di resistenza. Il comando assegna dei valori generalmente in linea con la normativa e la classe di resistenza selezionata.

Il coefficiente di sicurezza del materiale, di norma è da assegnare $\gamma_c=1.00$ (EN 1992-1-2:2004 (E) § 2.3; D.M.17-01-2018 §4.1.13). In ATS la resistenza di progetto f_{cd} è data dalla relazione $f_{cd}=f_{ck}/\gamma_c$ e in funzione della temperatura:

$$f_{cd}(T)=f_{cd} * (f_c(T)/f_{ck})$$

dove la resistenza f_{cd} è ridotta secondo la curva di degrado $f_c(T)/f_{ck}$.

b) Materiale acciaio da carpenteria

Per il materiale acciaio da carpenteria (codice 2), sono richiesti i valori a temperatura ambiente di:

- f_{yk} , tensione caratteristica di snervamento;
- f_{tk} , tensione caratteristica di rottura;
- E_a , modulo elastico normale alla temperatura ambiente;
- γ_a , coefficiente di sicurezza del materiale;
- ϵ_{ayT} , deformazione di snervamento a caldo;
- ϵ_{atT} , massima deformazione a caldo alla tensione di snervamento;
- ϵ_{auT} , deformazione ultima a caldo.

Questi dati possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet o di Selezione classe di resistenza. Il comando assegna dei valori generalmente in linea con la normativa e la classe di resistenza selezionata.

Il coefficiente di sicurezza del materiale, di norma è da assegnare $\gamma_a=1.00$ (D.M.17-01-2018 §4.2.11). In ATS la resistenza di progetto f_{ayd} è data dalla relazione $f_{ayd}=f_{yk}/\gamma_a$ e in funzione della temperatura:

$$f_{ayd}(T)=f_{ayd} * (f_{ay}(T)/f_{yk})$$

dove la resistenza f_{ayd} è ridotta secondo la curva di degrado $f_{ay}(T)/f_{yk}$.

Analogamente per la parte proporzionale.

c) Materiale generico resistente

Per il materiale generico resistente (codice 3), il legame tensioni-deformazioni ($\sigma(T)$ - ε) deve essere assegnato (vedere ipotesi di calcolo). Il programma considera la generica funzione $\sigma=f_d(\varepsilon)$ di progetto, come funzione lineare a tratti, definita in sei posizioni $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6$ di deformazione dai valori di resistenza $f_{d1}, f_{d2}, f_{d3}, f_{d4}, f_{d5}, f_{d6}$.

Per valori di deformazione intermedi è eseguita l'interpolazione lineare. La funzione $f_d(\varepsilon)$ risulta dunque:

$$\begin{aligned} f_d(\varepsilon) &= f_{d1} && \text{per } \varepsilon_i \leq \varepsilon_1 \\ f_d(\varepsilon) &= f_{d_i} + (f_{d_{i+1}} - f_{d_i}) \cdot (\varepsilon - \varepsilon_i) / (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i) && \text{per } \varepsilon_i \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{i+1}, i=1,5 \\ f_d(\varepsilon) &= f_{d6} && \text{per } \varepsilon_i \geq \varepsilon_6 \end{aligned}$$

Sono da assegnare i valori di resistenza di progetto f_{d_i} nelle sei posizioni ε_i ($i=1,6$) di deformazione, da parte dell'utente, con le condizioni:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &< \varepsilon_{i+1} \\ f_{d_i} &< f_{d_{i+1}} \end{aligned}$$

A deformazione positiva corrisponde un allungamento e a deformazione negativa corrisponde un accorciamento. In trazione corrispondono valori di resistenza positivi, in compressione corrispondono valori di resistenza negativi.

Ad esempio, volendo descrivere con questo metodo il legame (σ - ε) del calcestruzzo con resistenza di progetto $f_{cd}=192 \text{ kgf/cm}^2$ e deformazione -0.0020 al limite plastico e -0.0035 al limite ultimo, si assegnano i valori:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -0.0035, f_{d1} = -192.10 \\ \varepsilon_2 &= -0.0020, f_{d2} = -192.00 \\ \varepsilon_3 &= -0.0016, f_{d3} = -184.32 \\ \varepsilon_4 &= -0.0008, f_{d4} = -122.88 \\ \varepsilon_5 &= 0.0000, f_{d5} = 0.00 \\ \varepsilon_6 &= 1E8, f_{d6} = 0.01 \end{aligned}$$

d) Armature ordinarie

Per le armature ordinarie sono richiesti:

- f_{syk} , tensione caratteristica di snervamento;
- f_{stk} , tensione caratteristica di rottura;
- E_s , modulo elastico normale alla temperatura ambiente;
- γ_s , coefficiente di sicurezza materiale;
- ε_{syT} , deformazione di snervamento a caldo;
- ε_{stT} , massima deformazione a caldo alla tensione di snervamento;
- ε_{suT} , deformazione ultima a caldo.

Questi dati possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet o di Selezione classe di resistenza. Il comando assegna dei valori generalmente in linea con la normativa e la classe di resistenza selezionata.

Il coefficiente di sicurezza del materiale, di norma è da assegnare $\gamma_s=1.00$ (EN 1992-1-2:2004 (E) § 2.3; D.M.17-01-2018 §4.1.13). In ATS la resistenza di progetto f_{syd} è data dalla relazione $f_{syd}=f_{syk}/\gamma_s$ e in funzione della temperatura:

$$f_{syd}(T) = f_{syd} * (f_{sy}(T)/f_{syk})$$

dove la resistenza f_{syd} è ridotta secondo la curva di degrado $f_{sy}(T)/f_{syk}$.

Analogamente per la parte proporzionale.

e) Armature di precompressione

Per le armature di precompressione sono richiesti:

- f_{ptk} , tensione caratteristica di rottura;
- f_{pyk} , tensione caratteristica di snervamento;
- E_p , modulo elastico normale alla temperatura ambiente;
- $f_{p(0.1)k}$, tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua dell'armatura;
- γ_p , coefficiente di sicurezza materiale;
- ϵ_{pyT} , deformazione di snervamento a caldo;

Questi dati possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet o di Selezione classe di resistenza. Il comando assegna dei valori generalmente in linea con la normativa e la classe di resistenza selezionata (tipi di armature di precompressione).

Il coefficiente di sicurezza del materiale, di norma è da assegnare $\gamma_p=1.00$ (EN 1992-1-2:2004 (E) § 2.3; D.M.17-01-2018 §4.1.13). In ATS la resistenza di progetto f_{pd} è data dalla relazione $f_{pd}=f_{p0.1k}/\gamma_p$ e in funzione della temperatura:

$$f_{pd}(T)=f_{pd} * (f_{py}(T)/f_{p0.1k})$$

dove la resistenza f_{pd} è ridotta secondo la curva di degrado $f_{py}(T)/f_{p0.1k}$. Analogamente per la parte proporzionale.

2.8) Parametri statici dei materiali

Le grandezze meccaniche dei materiali dipendono dalla temperatura. Così come gli allungamenti. Per il calcestruzzo sono:

- $f_c(T)/f_{ck}$, rapporto di resistenza funzione della temperatura;
- $\epsilon_{c1}(T)$, deformazione alla tensione di picco;
- $\epsilon_{cu1}(T)$, deformazione ultima, alla tensione nulla;
- $\epsilon_{cth}(T)$, deformazione $dL_c(T)/L$ per effetto della temperatura.

Per l'acciaio da carpenteria sono:

- $f_{ay}(T)/f_{ayk}$, rapporto di resistenza funzione della temperatura;
- $f_{ap}(T)/f_{ayk}$, rapporto di resistenza proporzionale funzione della temperatura;
- $E_a(T)/E_a$, rapporto tra il modulo elastico funzione della temperatura e quello a freddo;
- $\epsilon_{ath}(T)$, deformazione $dL_a(T)/L$ per effetto della temperatura.

Per il materiale generico resistente sono:

- $f(T)/f_k$, rapporto di resistenza funzione della temperatura;
- $\epsilon_{th}(T)$, deformazione $dL(T)/L$ per effetto della temperatura.

Per le armature ordinarie sono:

- $f_{sy}(T)/f_{syk}$, rapporto di resistenza funzione della temperatura;
- $f_{sp}(T)/f_{syk}$, rapporto di resistenza proporzionale funzione della temperatura;
- $E_s(T)/E_s$, rapporto tra il modulo elastico funzione della temperatura e quello a freddo;
- $\epsilon_{sth}(T)$, deformazione $dL_s(T)/L$ per effetto della temperatura.

Per le armature di precompressione sono:

- $f_{py}(T)/f_{p0.1k}$, rapporto di resistenza funzione della temperatura;
- $f_{pp}(T)/f_{p0.1k}$, rapporto di resistenza proporzionale funzione della temperatura;
- $E_p(T)/E_p$, rapporto tra il modulo elastico funzione della temperatura e quello a freddo;
- $\epsilon_{pt}(T)$, massima deformazione a caldo alla tensione di snervamento funzione della temp.;
- $\epsilon_{pu}(T)$, deformazione ultima a caldo, funzione della temperatura;
- $\epsilon_{pth}(T)$, deformazione $dL_p(T)/L$ per effetto della temperatura.

Le grandezze di cui sopra risultano generalmente funzione della temperatura, al fine è richiesta la curva relativa al rapporto tra i valori alla temperatura T e il valore alla temperatura T_0 iniziale.

Queste funzioni, indicate genericamente $V=V(T)$, il programma li considera come funzione lineare a tratti, definite in $n=13$ posizioni T_i di temperatura dai valori V_i ($i=1,13$). Per valori della temperatura minori di T_1 è considerato il valore costante V_1 , per temperature maggiori di T_n è considerato il valore V_n , per temperature intermedie è eseguita l'interpolazione lineare. La funzione $V=V(T)$ risulta dunque:

- $V(T)=V_1$ per $T \leq T_1$;
- $V(T)=V_i+(V_{i+1}-V_i) \cdot (T-T_i)/(T_{i+1}-T_i)$ per $T_i \leq T \leq T_{i+1}$, $i=1,n-1$;
- $V(T)=V_n$ per $T \geq T_n$.

Sono da assegnare i valori $V(T_i)$ nelle posizioni T_i di temperatura. Deve inoltre risultare $T_i < T_{i+1}$.

Per questi valori vedere EN 1992-1-2:2023 (E) §5 Material properties. Per il materiale Acciaio da carpenteria vedere EN 1993-1-2:2024 (E) §5 Material Properties.

Le funzioni di cui sopra possono assegnarsi direttamente dall'utente e/o con il comando di AutoSet-Dati presente nella relativa finestra di dialogo. Il comando di AutoSetDati assegna alle funzioni dei valori generalmente in linea con la normativa, che viene indicata durante l'esecuzione del comando e la scelta operata.

2.9) Stato di deformazione elastico

Lo stato di tensione e della corrispondente deformazione elastica, preesistente la verifica, equilibrato e congruente, dei componenti la sezione, misurati al momento della verifica al fuoco al tempo $t_0=0$ dell'analisi termica, sono da assegnare attraverso le rispettive deformazioni elastiche con riferimento al sistema di assi xyz. Per uno stato di deformazione piano, ad ogni parte componente la sezione sono richiesti:

- la deformazione assiale ϵ_z , positiva se allungamento diretta come z;
- la curvatura X_x , vettore parallelo all'asse y, positiva se ruota da x a z (vettore diretto come -y secondo la convenzione destrorsa);
- la curvatura X_y , vettore parallelo all'asse x, positiva se ruota da y a z (vettore diretto come x secondo la convenzione destrorsa).

Queste grandezze sono da assegnare per i domini componenti la sezione e per le armature ordinarie; per le armature di precompressione si assegna lo stato tensionale per ogni singolo cavo.

Se al tempo $t_0=0$ dell'analisi termica la sezione è in campo elastico lineare la deformazione elastica risulta essere pari alla corrispondente tensione a meno del suo modulo elastico.

2.10) Definizione mesh

Il programma ATS definisce in modo automatico la mesh. La mesh è a maglia rettangolare, definita dalle dimensioni dx e dy dell'elemento rettangolare (dimensioni rispettivamente in direzione x e y). ATS considera gli elementi rettangolari interni ai vari domini componenti la sezione (aria esclusa) e gli elementi di frontiera (tutti gli elementi intersecati dalle frontiere dei domini) che possono essere di forma triangolare o quadrangolare. Per ogni suddivisione rettangolare di lati dx,dy intersecati da una frontiera di un dominio interno, ATS considera due elementi di forma generalmente triangolare o quadrangolare che sono relativi ai due materiali interessati (aria esclusa).

Sono da assegnare dx e dy, nel rispetto delle limitazioni di ATS.

Una prima condizione da rispettare comporta dei valori minimi assegnabili per dx e dy in quanto il programma prevede un massimo numero di elementi di mesh (valore fissato dal programma ATS).

Una seconda condizione è che ATS considera tutte le dimensioni approssimate a 1 millimetro e di conseguenza deve pure risultare $dx > 0.1$ cm e $dy > 0.1$ cm.

Una terza condizione comporta dei valori massimi assegnabili per dx e dy tali che risulti:

$$2.01 \cdot (dx^2 + dy^2)^{1/2} < d$$

cioè 2.01 volte la diagonale dell'elemento deve risultare inferiore al valore d di minima distanza tra due generici punti di frontiere diverse o due vertici della stessa frontiera.

I valori di dx e dy sono comunque da definire in modo appropriato. Occorre mantenere il rapporto dx/dy prossimo all'unità. Non usare valori troppo grandi di dx e dy per non avere un'analisi termica e statica troppo approssimata. Non usare valori troppo piccoli di dx e dy per non aumentare eccessivamente i tempi di calcolo oltre che il numero degli elementi di mesh.

2.11) Analisi termica

Il programma ATS esegue l'analisi termica, cioè calcola la distribuzione di temperatura all'interno della sezione per un tempo di esposizione al fuoco (t) precisato.

Con il programma ATS **dimostrativo** il tempo di esposizione al fuoco è fissato in 30 minuti e non può essere modificato.

La modifica (o correzione) dei dati della sezione che intervengono nell'analisi termica comporta l'annullamento dei risultati già ottenuti. Inoltre, l'analisi termica annulla i risultati dell'analisi statica, che deve essere rifatta.

Ad analisi termica eseguita, si possono controllare i valori delle temperature raggiunte. ATS visualizza il valore della temperatura del fronte caldo (T_{fc}) e del fronte freddo (T_{ff}). Possono poi essere verificate le temperature degli elementi, sono visualizzati i seguenti dati:

- ix, posizione orizzontale (x) dell'elemento;
- iy, posizione verticale (y) dell'elemento;
- x, ascissa baricentro elemento;
- y, ordinata baricentro elemento;
- M, numero materiale (sezione componente numero M);
- T, temperatura raggiunta dall'elemento;
- f(T)/fk, rapporto di resistenza;

dove il punto (x,y)=(0,0) è nell'origine degli assi della sezione; inoltre l'elemento di posizione (ix,iy)=(1,1) ha come coordinate del baricentro il punto (x,y)=(dx/2,dy/2) e l'elemento di posizione (ix,iy)=(-1,-1) ha come coordinate del baricentro il punto (x,y)=(-dx/2,-dy/2).

2.12) Analisi statica

L'analisi statica comporta il calcolo del dominio di interazione allo stato limite ultimo. È disponibile il calcolo dei seguenti domini:

- dominio N–M_x, di flessione retta nel piano x,z;
- dominio N–M_y, di flessione retta nel piano y,z;

- dominio N–Mx–My 2D, di flessione deviata ad N costante;
- dominio N–Mx–My 3D, di flessione deviata tridimensionale.

Il diagramma del dominio può essere riferito o all'origine degli assi o agli assi paralleli ad x,y posti nel baricentro geometrico del dominio del materiale base (baricentro geometrico di tutta l'area racchiusa dalla frontiera del dominio); le coordinate di tale posizione sono comunque indicate nella stampa del dominio resistente.

Generalmente il dominio 3D è riservato ai pilastri.

2.13) Sollecitazioni di verifica

Assegnando una serie di sollecitazioni di verifica, queste vengono rappresentate graficamente assieme al grafico del dominio. Viene inoltre fornito il “coefficiente vettoriale minimo” della sollecitazione più sfavorevole. Se la sollecitazione è interna al dominio il coefficiente è >1 e più il coefficiente è grande più la sollecitazione si trova internamente al dominio. Se la sollecitazione è esterna al dominio il coefficiente è <1 e più il coefficiente è piccolo più la sollecitazione è lontana dalla frontiera. Se il coefficiente è prossimo a 1 la sollecitazione è vicina alla frontiera internamente se >1 od esternamente se <1 .

Il coefficiente vettoriale c_v per la generica azione di progetto (N_{Ed}, M_{Ed}) è calcolato sul dominio “uniforme” (N_{RdU}, M_{RdU}) ottenuto dal dominio resistente (N_{Rd}, M_{Rd}) nel seguente modo:

$$u = (M_{Rdmax} - M_{Rdmin}) / (N_{Rdmax} - N_{Rdmin})$$

$$N_{RdU} = N_{Rd} \cdot u$$

$$M_{RdU} = M_{Rd}$$

$$F_{EdU} = \text{SQRT}((N_{Ed} \cdot u)^2 + M_{Ed}^2)$$

$$c_v = (F_{EdU} + d_{min}) / F_{EdU} \quad \text{! se punto interno}$$

$$c_v = (F_{EdU} - d_{min}) / F_{EdU} \quad \text{! se punto esterno}$$

essendo d_{min} la distanza minima del punto sollecitazione (N_{Ed}, M_{Ed}) dalla frontiera del dominio uniforme (N_{RdU}, M_{RdU}) .

2.14) Opzioni

Sono disponibili le seguenti opzioni, accessibili dal menu **Inserisci\Opzioni\...**

a) Sistema di riferimento

Le sollecitazioni, i domini e altre grandezze specificate in ATS possono riferirsi gli assi xyz della sezione o agli assi xyz paralleli a quelli della sezione ma posti nel baricentro geometrico della sezione base. Si consiglia comunque il riferimento al baricentro geometrico.

b) Curve di resistenza dei materiali

Le curve di resistenza dei materiali sono quelle indicate in:

- EN 1992-1-2:2023 (E),
- EN 1993-1-2:2024 (E).

c) Curve temperatura di incendio

Le curve di incendio nominali considerate in ATS sono:

- curva standard (ISO-834)
- curva degli idrocarburi (HC)
- curva nominale esterna
- curva di incendio UNI 11076
- curva EUREKA RABT ZTV (train)
- curva EUREKA RABT ZTV (car)
- curva idrocarburi modificata (HCM)
- curva RWS (Rijkswaterstaat)

L'utente, per il calcolo termico, deve selezionare la curva di incendio di calcolo tra quelle sopra elencate.

d) Opzione di verifica a taglio

L'opzione è impostata su "Metodo traliccio inclinazione variabile".

e) Livello dominio

Se i domini di interazione presentano "cuspidi rientranti" occorre aumentare l'affinazione del calcolo, selezionando un livello superiore

f) Modalità di visualizzazione/Stampa risultati domini

Sono le opzioni di visualizzazione/stampa dei domini "numerici".

g) Modo grafico Visualizzazione\Stampa armature

Sono le opzioni di visualizzazione delle "dimensioni grafiche" delle armature, in modo fisso o proporzionale al loro diametro.

2.15) Verifica a taglio

La verifica a taglio è condotta considerando la resistenza dei materiali ridotta secondo i coefficienti $f(T)/f_k$ delle rispettive curve di degrado.

La sezione base deve essere in calcestruzzo e tutte le eventuali sezioni interne devono essere di aria (vuoti) e/o materiale non resistente.

Le caratteristiche dei materiali sono proposte dal programma partendo da quelle del calcestruzzo della sezione base (obbligatoria la sezione base di materiale calcestruzzo) e quelle dell'acciaio delle armature 1, staffe comprese. L'utente può modificarne i valori.

Sono ammesse sezioni aventi anime inclinate con un unico valore dell'inclinazione.

Sono previste armature a taglio (staffe) verticali o inclinate nel piano della sezione, occorre posizionare i singoli bracci di staffa assegnandone il diametro, il passo e la posizione nella sezione, più l'eventuale inclinazione del singolo braccio nel piano della sezione.

I correnti teso e compresso delle armature sono individuati assegnando la zona che li comprende (zona armature superiori e zona armature inferiori): l'area del corrente superiore (A_{ls} per le armature ordinarie e A_{ps} per le armature di precompressione) è dato dalle armature comprese nella parte di sezione superiore (a_y minimo) per un'altezza pari a H_{a1} , l'area del corrente inferiore (A_{li} per le armature ordinarie e A_{pi} per le armature di precompressione) è dato dalle armature comprese nella

parte di sezione inferiore (a y massimo) per un'altezza pari a H_{a2} , distinguendo tra le armature ordinarie e di precompressione. Queste sono ridotte coerentemente alla temperatura raggiunta. I correnti tesi influiscono sul calcolo delle altezze utili (d , $d+$) e di conseguenza sui bracci delle coppie interne (z , $z+$).

La forza risultante di precompressione N_{pd} , per le sezioni precomprese, è ridotta tramite il coefficiente $E(T)/E$ della curva di degrado delle armature di precompressione.

Non sono ammessi correnti tesi e correnti compressi inclinati.

La verifica a taglio viene eseguita per tutte le fibre intermedie della sezione (passo pari all'altezza dell'elemento di mesh) ad esclusione della zona superiore per un'altezza pari a H_{e1} e ad esclusione della zona inferiore per un'altezza pari a H_{e2} . Sono ivi considerate le grandezze opportunamente ridotte.

Per momento positivo o nullo si assume come corrente compresso la parte superiore della sezione (zona a y minimo) come corrente teso l'armatura somma di quella ordinaria inferiore A_{li} e quella di precompressione inferiore A_{pi} considerata come armatura ordinaria.

Per momento negativo si assume come corrente compresso la parte inferiore della sezione (zona a y massimo) e come corrente teso l'armatura somma di quella ordinaria superiore A_{ls} e quella di precompressione superiore A_{ps} considerata come armatura ordinaria.

L'azione assiale N_{Ed} è assunta pari alla somma dell'azione assiale di progetto N_{Ed} prodotta dai carichi e dalla risultante della forza di precompressione N_{pd} ridotta per effetto della temperatura.

Sono considerate:

- elementi con armatura trasversale resistente a taglio;
- elementi senza armatura trasversale resistente a taglio;
- elementi in calcestruzzo armato precompresso disposti in semplice appoggio senza armatura trasversale resistente a taglio.

La verifica a taglio è condotta secondo i criteri per le sezioni a freddo considerando le resistenze dei materiali o le rispettive aree ridotte secondo i coefficienti $f(T)/f_k$ delle rispettive curve di degrado, in base alla temperatura T raggiunta.

Nel calcolo del braccio della coppia interna e altezza utile della sezione ATS considera la sezione fessurata con armature ordinarie e di precompressione considerate ordinarie prese nella loro posizione geometrica all'interno della sezione.

Il braccio della coppia interna z è calcolato come $0,9 \cdot d$ con l'auto set dati.

Per le funzioni di base ed i vari coefficienti vedi anche Eurocodice EN 1992-1-2:2023(E) e D.M. 17 gennaio 2018.

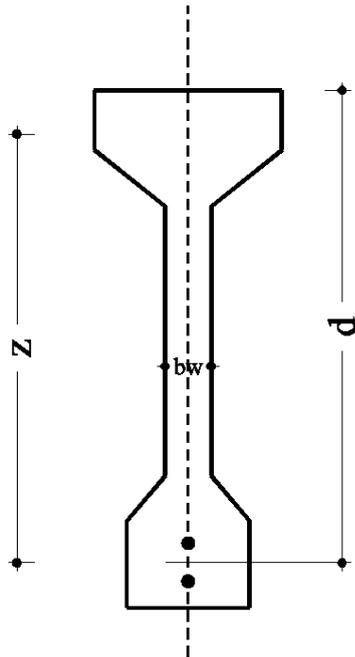
La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad \text{o anche} \quad V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

dove V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Nel caso in cui i bracci delle staffe sono inclinate nel piano della sezione, ad esempio per i tegoli con larghezza dell'anima variabile e con i bracci delle staffe poste parallelamente al bordo, ATS tiene conto della effettiva posizione dei bracci delle staffe nel calcolo della loro distribuzione di temperatura e quindi del degrado della resistenza che varierà a seconda della posizione.

2.15.1) Elementi aventi l'asse dell'anima della sezione verticale



a) Elementi con armatura trasversale resistente a taglio

Per elementi con armatura verticale (staffe) resistente a taglio, la resistenza a taglio V_{Rd} della sezione è la minore dei due valori:

$$V_{Rsd} = z \cdot A_{st} \cdot f_{syd} \cdot \cotg\theta$$

$$V_{Rcd} = z \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \cotg\theta / (1 + \cotg^2\theta)$$

essendo:

- A_{st} = $A_{st}(T)$, è l'area trasversale delle staffe verticali disposte sull'unità di lunghezza, ridotta a secondo della temperatura raggiunta nell'armatura;
- b_w = $b_w(T)$, larghezza minima della sezione, ridotta a secondo della temperatura raggiunta nel calcestruzzo;
- z braccio coppia interna della sezione;
- d altezza utile della sezione;
- f_{cd} resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo;
- f_{syd} tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio (staffe);
- θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave;
- α_c coefficiente che tiene conto della compressione assiale;
- v $v f_{cd}$ = resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima.

b) Elementi senza armatura trasversale resistente a taglio

Per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio, dove la tensione di trazione nel calcestruzzo σ_{ct} risulta minore di f_{ctm} (controllo $\sigma_{ct} < f_{ctm}$ a cura dell'utente), la resistenza a taglio V_{Rd} della sezione è data dall'espressione:

$$V_{Rd} = \max [(0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d; (0,035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d]$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2, \text{ (d in mm);}$$

$$\rho_l = A_{sl}(T)/(b_w(T) \cdot d), \text{ rapporto geometrico dell'armatura longitudinale tesa } (\leq 0,02);$$

$$\sigma_{cp} = (N_{Ed}(T) + F_{zp})/A_c(T), \text{ la tensione media di compressione nella sezione } (\leq 0,2 f_{cd}),$$

con N_{Ed} e F_{zp} positive se di compressione.

Nel calcolo del rapporto geometrico dell'armatura longitudinale tesa ρ_l , ATS considera come armatura longitudinale tesa A_{sl} :

- tutte le armature presenti nella parte superiore dell'altezza, tra y_{min} e $Ha1$, per momenti negativi;
 - tutte le armature presenti nella parte inferiore dell'altezza, tra $Ha2$ e y_{max} , per momenti positivi;
- salvo modifiche dell'utente dei valori.

È a cura dell'utente verificare che la tensione di trazione nel calcestruzzo σ_{ct} risulti minore di f_{ctm} .

c) Elementi in calcestruzzo armato precompresso disposti in semplice appoggio senza armatura trasversale resistente a taglio

Per elementi in cemento armato precompresso disposti in semplice appoggio senza armature trasversali resistenti a taglio, dove la tensione di trazione nel calcestruzzo σ_{ct} risulta minore di f_{ctd} (controllo $\sigma_{ct} < f_{ctd}$ a cura dell'utente) la resistenza a taglio V_{Rd} della sezione è data dall'espressione:

$$V_{Rd} = 0,7 b_w d (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd})^{1/2}$$

con

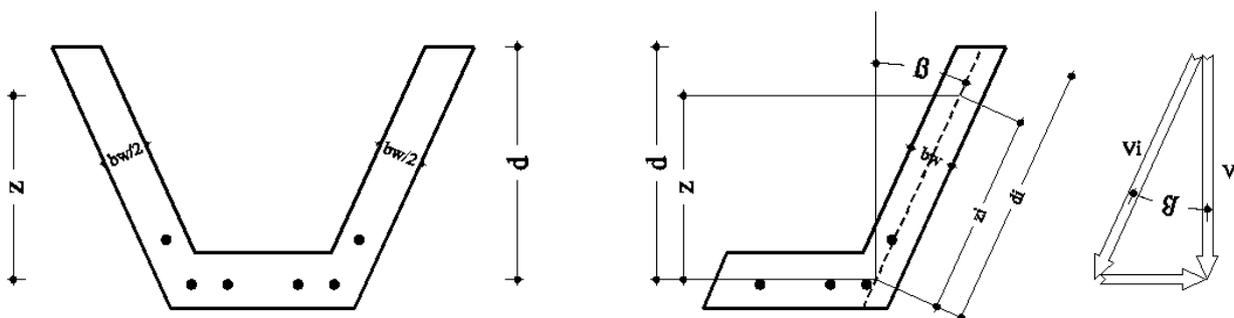
$$f_{ctd}, \text{ resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo;}$$

$$\sigma_{cp} = (N_{Ed}(T) + F_{zp})/A_c(T), \text{ la tensione media di compressione nella sezione } (\leq 0,2 f_{cd}),$$

con N_{Ed} e F_{zp} positive se di compressione.

E' a cura dell'utente verificare che la tensione di trazione nel calcestruzzo σ_{ct} risulti minore di f_{ctd} .

2.15.2) Elementi aventi l'asse dell'anima della sezione inclinata rispetto alla verticale



a) Elementi con armatura trasversale resistente a taglio

In direzione dell'asse dell'anima risulta:

$$V_{Ed}^i = V_{Ed} / \cos \beta$$

$$V_{Rsd}^i = z^i \cdot A_{st} \cdot f_{syd} \cdot \cotg\theta = z / \cos \beta \cdot A_{st} \cdot f_{syd} \cdot \cotg\theta = V_{Rsd} / \cos \beta$$

$$V_{Rcd}^i = z^i \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \cotg\theta / (1 + \cotg^2\theta) = \\ = z / \cos \beta \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \cotg\theta / (1 + \cotg^2\theta) = V_{Rcd}(b_w) / \cos \beta$$

dove b_w è la larghezza dell'anima misurata in ortogonale all'asse dell'anima.

La verifica si pone

$$V_{Ed} / \cos \beta \leq V_{Rsd} / \cos \beta \\ V_{Ed} / \cos \beta \leq V_{Rcd}(b_w) / \cos \beta$$

e semplificando

$$V_{Ed} \leq V_{Rsd} \\ V_{Ed} \leq V_{Rcd}(b_w)$$

che sono le formule di verifica considerando le azioni e resistenze sulla verticale, misurando però la larghezza dell'anima sulla fibra normale al suo asse inclinato.

b) Elementi senza armatura trasversale resistente a taglio

In direzione dell'asse dell'anima risulta:

$$V_{Ed}^i = V_{Ed} / \cos \beta$$

$$V_{Rd}^i = \max [(0,18 k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d^i ; (0,035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d^i] = \\ = \max [(0,18 k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d / \cos \beta ; (0,035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d / \cos \beta] = \\ = V_{Rd}(b_w) / \cos \beta$$

La verifica si pone

$$V_{Ed} / \cos \beta \leq V_{Rd}(b_w) / \cos \beta$$

e semplificando

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}(b_w)$$

che sono le formule di verifica considerando le azioni e resistenze sulla verticale, misurando però la larghezza dell'anima sulla fibra normale al suo asse inclinato.

c) Elementi in calcestruzzo armato precompresso disposti in semplice appoggio senza armatura trasversale resistente a taglio

In direzione dell'asse dell'anima risulta:

$$V_{Ed}^i = V_{Ed} / \cos \beta$$

$$V_{Rd}^i = 0,7 b_w d^i (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd})^{1/2} = 0,7 b_w d / \cos \beta \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd})^{1/2} = V_{Rd}(b_w) / \cos \beta$$

La verifica si pone

$$V_{Ed} / \cos \beta \leq V_{Rd}(b_w) / \cos \beta$$

e semplificando

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}(b_w)$$

che sono le formule di verifica considerando le azioni e resistenze sulla verticale, misurando però la larghezza dell'anima sulla fibra normale al suo asse inclinato.

Capitolo 3

IPOTESI DI CALCOLO ANALISI TERMICA

3.1) Propagazione di calore per conduzione

La propagazione del calore all'interno delle parti solide della sezione è per ipotesi di tipo conduttivo. Nel caso piano, l'equazione di Fourier risulta:

$$\text{div} (C_o \cdot \text{grad } T) + p = C_a \cdot D_m \cdot \partial T / \partial t$$

dove si è indicato con

- T, la temperatura;
- t, il tempo;
- C_o, la conducibilità termica;
- C_a, il calore specifico;
- D_m, la densità di massa;
- p, potenza generata nell'unità di volume.

Tutte le grandezze T, C_o, C_a, D_m, possono essere funzione dello spazio (x,y) e del tempo.

3.2) Propagazione di calore per convezione e irraggiamento

Lo scambio termico tra una superficie solida e un gas (l'ambiente) è per ipotesi di tipo convettivo e irradiante. Il flusso di calore trasmesso per convezione e irraggiamento su una superficie a contatto con l'aria è dato dalla relazione

$$q = h \cdot (T_e - T_s) + \sigma_o \cdot \epsilon_{es} \cdot [T_e^4 - T_s^4]$$

con:

- T_e, la temperatura dell'ambiente in °K (temperatura dell'aria e/o gas);
- T_s, la temperatura della superficie esposta in °K;
- h, il coefficiente di convezione;
- σ_o, la costante di Stefan-Boltzmann, di valore 5.6697E-8 W/m²°K⁴;
- ε_{es}, il coefficiente dipendente dalla proprietà e geometria dei corpi irradianti (si chiamerà impropriamente coefficiente di irraggiamento).

La quantità di calore che passa attraverso la superficie ΔS nell'unità di tempo vale di conseguenza

$$\Delta Q = q \cdot \Delta S$$

e sarà funzione dello spazio (x,y) e del tempo.

3.3) Propagazione di calore per irraggiamento tra due corpi

Lo scambio termico tra due superfici, nello spazio, che si affacciano (vale per le pareti dei vuoti interni dichiarati aria) è per ipotesi irradiante. In generale, per un corpo grigio e opaco di potere emissivo “e”, il flusso di calore emesso risulta

$$q_e = e \sigma_o T_e^4$$

ed il generico elemento di superficie dS_e emette la potenza

$$dq_e = e \sigma_o T_e^4 dS_e$$

e supposta la radiazione isotropa, ad ogni unità di angolo solido inclinato di φ_e rispetto alla normale \mathbf{n}_e uscente dall'elemento di superficie compete una potenza, per tutto il semispazio di fronte, pari a

$$dq_e = e \sigma_o T_e^4 dS_e (\cos(\varphi_e) / \pi)$$

essendo l'intensità della radiazione per unità di angolo solido

$$I_e = e \sigma_o T_e^4 / \pi \quad (\text{per dimostrazione vedere bibliografia})$$

Il generico elemento di superficie assorbente dS_a visibile dal generico elemento di superficie emittente dS_e è investito dalla potenza emessa da dS_e per una quantità pari a

$$dq_{ea} = e \sigma_o T_e^4 dS_e dS_a \cos(\varphi_e) \cos(\varphi_a) / (\pi R^2)$$

di cui la parte assorbita

$$dq_a = e a \sigma_o T_e^4 dS_e dS_a \cos(\varphi_e) \cos(\varphi_a) / (\pi R^2)$$

mentre la restante parte viene riflessa.

Analogamente per il caso piano considerato in ATS, dove il vuoto interno è considerato di estensione infinita lungo la direzione normale alla sezione.

I simboli hanno il seguente significato:

- T_e , la temperatura dell'elemento di superficie emittente;
- e , coefficiente di emissione (o potere emissivo);
- a , coefficiente di assorbimento (o potere assorbente);
- σ_o , la costante di Stefan-Boltzmann;
- R , distanza tra i due elementi;
- φ_e , angolo tra la normale uscente l'elemento emittente e la congiungente i due elementi;
- φ_a , angolo tra la normale uscente l'elemento assorbente e la congiungente i due elementi.

3.4) Bilancio termico in sistemi discreti

L'equazione di Fourier è un'equazione di bilancio termico infinitesimale. Nel caso si considera un elemento finito a contorno generico convesso (in ATS sono considerati elementi triangolari, quadrangolari ed in generale poligonali a cinque lati), l'equazione di bilancio termico risulta un'equazione algebrica.

Il flusso di calore Φ che passa attraverso una superficie ha direzione e verso opposto al gradiente di temperatura ed è proporzionale alla conducibilità termica Co :

$$\Phi = - Co \cdot \text{grad } T = - Co \cdot (\partial T / \partial x \mathbf{i} + \partial T / \partial y \mathbf{j})$$

La quantità di calore passante attraverso una superficie ΔS di normale il vettore \mathbf{n} , vale

$$\Delta Q = \Phi \cdot \mathbf{n} \cdot \Delta S$$

In un sistema discreto composto da tanti elementi la cui massa si suppone concentrata nel baricentro, la quantità di calore che si scambiano due generici elementi, quella passante attraverso la loro superficie di contatto ΔS_{ik} (che si considera piana; se la superficie di contatto tra i due elementi considerati non è piana, si decompone tale superficie in tante superfici piane):

$$\Delta Q_{ik} = - Co_{ik} \cdot (T_i - T_k) / d_{ik} \cdot \Delta S_{ik}$$

essendo:

- ΔS_{ik} , la superficie di contatto tra i due elementi;
- d_{ik} , la distanza tra i baricentri dei due elementi proiettata sulla normale alla superficie di contatto;
- Co_{ik} , il valor medio delle conducibilità termiche calcolate nel baricentro degli elementi i e k ;
- T_i , la temperatura dell'elemento i ;
- T_k , la temperatura dell'elemento k .

Si suppone cioè che la componente del gradiente di temperatura misurata lungo la normale alla superficie di contatto, in corrispondenza della superficie di contatto stessa, sia dato dalla differenza di temperatura dei baricentri dei due elementi rapportata alla loro distanza proiettata sulla normale alla superficie di contatto.

Il flusso di calore trasmesso per convezione e irraggiamento su una superficie a contatto con l'aria è dato dalla relazione

$$q = h \cdot (T_e - T_s) + \sigma_0 \cdot \epsilon_{es} \cdot [T_e^4 - T_s^4]$$

La precedente equazione può scriversi, con riferimento alla forma di scambio termico per convezione:

$$q = H \cdot (T_e - T_s)$$

con H funzione delle temperature T_e e T_s , cioè

$$H = h + \sigma_0 \cdot \epsilon_{es} \cdot [T_e^3 + T_e^2 \cdot T_s + T_e \cdot T_s^2 + T_s^3]$$

In un sistema discreto, la quantità di calore passante attraverso una superficie ΔS_{ij} a contatto con l'aria, superficie j dell'elemento i , si scrive:

$$\Delta Q_i = H_{ij} \cdot (T_e - T_{sij}) \cdot \Delta S_{ij}$$

quantità che deve uguagliare la quantità di calore "entrante" nell'elementino attraverso la stessa superficie

$$\Delta Q_i = - C_{oi} \cdot (T_i - T_{sij}) / d_{ij} \cdot \Delta S_{ij}$$

essendo

- T_i , la temperatura interna elemento (nel baricentro)
- d_{ij} , la distanza del baricentro da ΔS_{ij} , misurata lungo la normale alla superficie ΔS_{ij} .

Uguagliando le quantità di calore si ha

$$H_{ij} \cdot (T_e - T_{sij}) + C_{oi} \cdot (T_i - T_{sij}) / d_{ij} = 0$$

cioè un'equazione di IV grado nell'incognita T_{sij} (noti T_e e T_i) del tipo

$$a \cdot x^4 + b \cdot x = c \quad \text{con } c > 0$$

che fornisce le due soluzioni: $x < 0$ non ammessa e $x > 0$ ammessa. La soluzione dell'equazione precedente può ottenersi risolvendo per iterazione l'equazione pseudolineare

$$H(T_e, T_{sij}) \cdot (T_e - T_{sij}) + C_{oi} \cdot (T_i - T_{sij}) / d_{ij} = 0$$

e la soluzione ottenuta è quella cercata, cioè il valore della temperatura superficiale T_{sij} , se il procedimento converge ad un valore positivo (della temperatura misurata in gradi Kelvin). Noto poi la temperatura superficiale è noto il flusso di calore.

L'aumento di energia interna dell'elemento i vale

$$C_{ai} \cdot d_{mi} \cdot \Delta V_i \cdot \partial T_i / \partial t$$

essendo

- T_i , la temperatura dell'elemento i ;
- C_{ai} , il calore specifico dell'elemento i ;
- d_{mi} , la densità di massa dell'elemento i .

Dovendo l'aumento di energia interna coincidere con la quantità di calore entrante, l'equazione di bilancio termico dell'elemento diviene

$$C_{ai} \cdot d_{mi} \cdot \Delta V_i \cdot \partial T_i / \partial t + \sum_k C_{oi} \cdot (T_i - T_k) / d_{ik} \cdot \Delta S_{ik} - \sum_j h_{tj} \cdot (T_{ej} - T_{sij}) \cdot \Delta S_{ij} = 0$$

dove la sommatoria è estesa a tutte le superfici i a contatto con gli altri elementi e a tutte le superfici j a contatto con l'aria.

Suddividendo l'asse dei tempi in passi $\delta t[n]=t[n+1]-t[n]$, indicando con $T[n]$ la temperatura al passo n , con $T[n+1]$ la temperatura al passo successivo; l'espressione precedente si può trasformare in un primo modo calcolando i flussi di calore al tempo $t[n]$, da cui:

$$\text{Cai} \cdot d_{mi} \cdot \Delta V_i \cdot (T_i[n+1] - T_i[n]) / \delta t[n] + \sum_k \text{Coik} \cdot (T_i[n] - T_k[n]) / d_{ik} \cdot \Delta S_{ik} + \\ - \sum_j h_{tij} \cdot (T_{ej} - T_{sij}) \cdot \Delta S_{ij} = 0$$

ed in un secondo modo calcolando i flussi di calore al tempo $t[n+1]$, da cui:

$$\text{Cai} \cdot d_{mi} \cdot \Delta V_i \cdot (T_i[n+1] - T_i[n]) / \delta t[n] + \sum_k \text{Coik} \cdot (T_i[n+1] - T_k[n+1]) / d_{ik} \cdot \Delta S_{ik} + \\ - \sum_j h_{tij} \cdot (T_{ej} - T_{sij}) \cdot \Delta S_{ij} = 0$$

Nel primo modo l'equazione di bilancio termico dell'elemento i fornisce la temperatura $T_i[n+1]$ note le temperature al tempo $t[n]$. Nel secondo modo si ottiene un sistema di equazioni lineari nelle incognite $T[n+1]$ che risolto fornisce le temperature al tempo $t[n+1]$ note le temperature al tempo $t[n]$.

Si noti che il calore scambiato con l'ambiente esterno e l'aria in genere, è calcolato secondo quanto precedentemente riportato, considerando la temperatura nota dell'aria e la temperatura dell'elemento al tempo $t[n]$. Per l'aria esterna è presa la temperatura al tempo $t[n+1]$ che è nota, per i materiali aria (vuoti interni) è presa la temperatura al tempo $t[n]$ calcolata come media dei valori della temperatura delle superfici a contatto ($T_{e[n]} = (\sum T_{s[n]} \cdot \delta s) / (\sum \delta s)$).

Capitolo 4

IPOTESI DI CALCOLO ANALISI STATICA

4.1) Domini di interazione

Il calcolo del dominio di interazione è fatto sommando allo stato di deformazione elastica al tempo $t=0$, uno stato di deformazione aggiuntivo di flessione retta (ε_z, χ_y) o flessione deviata $(\varepsilon_z, \chi_x, \chi_y)$, cioè deformazione assiale e curvature nei piani di flessione. È tenuto conto della deformazione anelastica dovuta alla temperatura. Il calcolo dei momenti resistenti ultimi è fatto considerando opportuni stati di deformazione della sezione $(\varepsilon_z, \chi_x, \chi_y)$ senza che, necessariamente, venga raggiunto il limite della deformazione ultima di uno o più materiali componenti la sezione.

Ogni elemento (elemento di mesh) di materiale resistente è considerato concentrato nel suo baricentro e contato per la sua area effettiva. Le armature sono considerate nella loro posizione, il valore della temperatura è calcolato interpolando i valori delle temperature degli elementi vicini (per le armature all'interno di un elemento di frontiera è preso il valore della temperatura dell'elemento).

Valgono le seguenti ipotesi fondamentali:

- 1) conservazione delle sezioni piane;
- 2) assenza di scorrimento tra i materiali componenti la sezione;
- 3) legame elastico non lineare tra sforzi e deformazioni;
- 4) deformazione massima del calcestruzzo compresso pari a $\varepsilon_{cu1}(T)$;
- 5) deformazione massima dell'acciaio di ε_{suT} in compressione e in trazione;
- 6) deformazione massima dell'armatura di precompressione pari a $\varepsilon_{pu}(T)$ in compressione e in trazione;
- 7) deformazione massima dell'acciaio carpenteria pari a ε_{auT} in compressione e in trazione.

La prima ipotesi si traduce nel fatto che lo stato di deformazione è uno stato di deformazione piano. Le deformazioni nei materiali sono calcolate prescindendo dal contributo a trazione del conglomerato. Per i cavi di precompressione è tenuto conto della eventuale inclinazione.

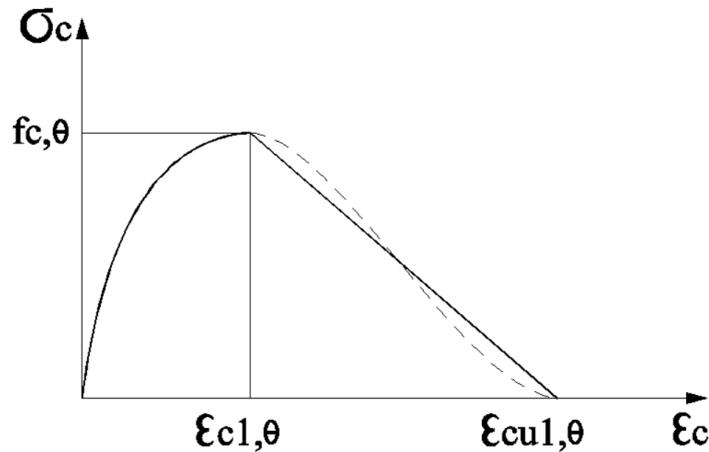
Il calcolo del dominio resistente è fatto coerentemente alle curve di resistenza EN e tenendo in conto della deformazione anelastica dei materiali dovuta alla temperatura.

Il modo di calcolo in linea con il D.M. 17GEN2018 e l'Eurocodice richiede l'uso delle seguenti curve tensioni-deformazioni:

- per il calcestruzzo: "Curva di resistenza EN 1992-1-2:2023 (E)";
- per l'acciaio da carpenteria: "Curva di resistenza EN 1993-1-2:2024 (E)";
- per le armature ordinarie: "Curva di resistenza EN 1992-1-2:2023 (E)";
- per le armature di precompressione: "Curva di resistenza EN 1992-1-2:2023 (E)".

4.2) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni del calcestruzzo

In trazione si assume resistenza nulla. In compressione si adotta la seguente relazione tensioni-deformazioni (vedi EN 1992-1-2:2023 (E) § 5.3.1.1):



dove

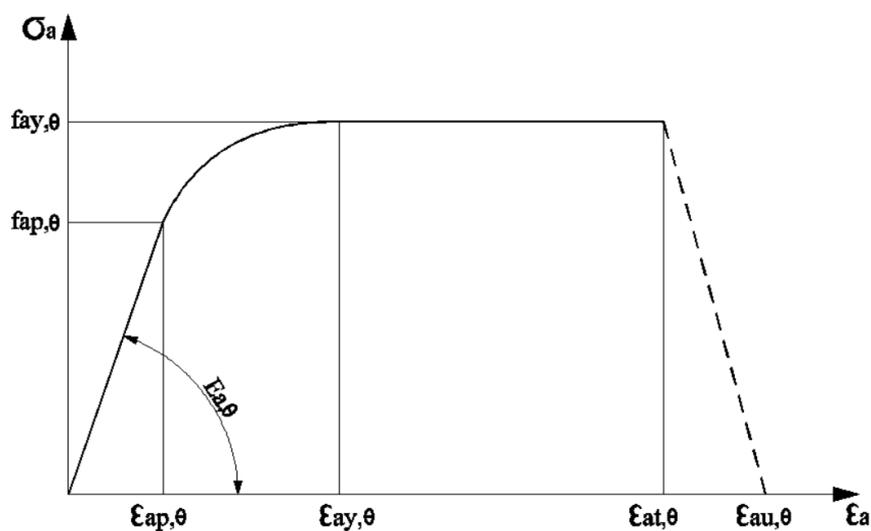
- $\sigma_c(\theta) = 3 \epsilon_c f_{c,\theta} / [\epsilon_{c1,\theta} (2 + (\epsilon_c/\epsilon_{c1,\theta})^3)]$ per deformazioni comprese tra 0 e $\epsilon_{c1,\theta}$;
- $\sigma_c(\theta) = f_{c,\theta} [1 - (\epsilon_c - \epsilon_{c1,\theta}) / (\epsilon_{cu1,\theta} - \epsilon_{c1,\theta})]$ per deformazioni comprese tra $\epsilon_{c1,\theta}$ e $\epsilon_{cu1,\theta}$;

essendo σ_c la resistenza, ϵ_c la deformazione,

- $f_{c,\theta}$, massima resistenza alla compressione ($f_{cd}(T)$);
- $\epsilon_{c1,\theta}$, la deformazione corrispondente alla massima resistenza alla compressione;
- $\epsilon_{cu1,\theta}$, la deformazione ultima.

4.3) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni dell'acciaio da carpenteria

In trazione, ed analogamente in compressione, si adotta la seguente relazione tensioni-deformazioni (vedi EN 1993-1-2:2024 (E) § 5.3.1.1):



dove

- $\sigma_a(\theta) = \epsilon_a E_{a,\theta}$ per deformazioni comprese tra 0 e $\epsilon_{ap,\theta}$;
- $\sigma_a(\theta) = f_{ap,\theta} + (\dots)$ per deformazioni comprese tra $\epsilon_{ap,\theta}$ e $\epsilon_{ay,\theta}$;
- $\sigma_a(\theta) = f_{ay,\theta}$ per deformazioni comprese tra $\epsilon_{ay,\theta}$ e $\epsilon_{at,\theta}$;

- $\sigma_a(\theta) = f_{ay,\theta} [1 - (\varepsilon_a - \varepsilon_{at,\theta}) / (\varepsilon_{au,\theta} - \varepsilon_{at,\theta})]$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{at,\theta}$ e $\varepsilon_{au,\theta}$;
 - $\sigma_a(\theta) = 0,00$ per $\varepsilon_a = \varepsilon_{au,\theta}$;
- essendo σ_a la resistenza, ε_a la deformazione ed E_a il modulo elastico,
- $f_{ap,\theta}$, tensione al limite proporzionale;
 - $f_{ay,\theta}$, tensione di snervamento (effective yield strength) ($f_{ayd}(T)$);
 - $\varepsilon_{ap,\theta}$, deformazione corrispondente al limite proporzionale;
 - $\varepsilon_{ay,\theta}$, deformazione allo snervamento;
 - $\varepsilon_{at,\theta}$, limite deformazione per la resistenza allo snervamento;
 - $\varepsilon_{au,\theta}$, deformazione ultima;
- con le grandezze funzione della temperatura θ raggiunta nel materiale.

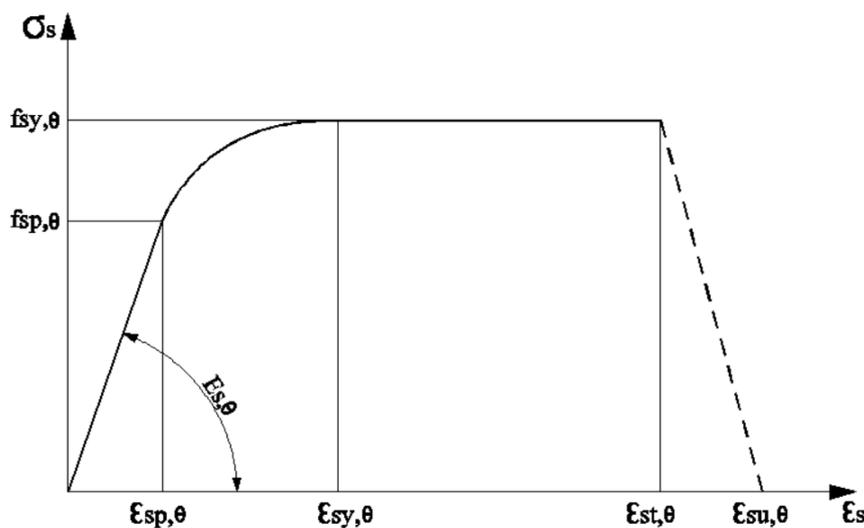
Per (...) vedi EN 1993-1-2:2024 (E) Tab.5.2

4.4) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni del materiale generico resistente

Si adotta un legame sforzo-deformazione (σ - ε) poligonale. Il programma considera la generica funzione $\sigma = f_d(\varepsilon)$ di progetto, come funzione lineare a tratti, definita in sei posizioni ε_i di deformazione dai valori di resistenza f_{d_i} , con $\varepsilon_i < \varepsilon_{i+1}$ e $f_{d_i} < f_{d_{i+1}}$. Per valori di deformazione intermedi è eseguita l'interpolazione lineare. Per deformazione $\varepsilon < \varepsilon_1$ si assume il valore di resistenza $f_{d_1} < 0,00$ quale resistenza massima in compressione, per deformazione $\varepsilon > \varepsilon_6$ si assume il valore di resistenza $f_{d_6} > 0,00$ quale resistenza massima in trazione. Sono da assegnare valori negativi di f_{d_i} per la resistenza in compressione e valori f_{d_i} positivi per la resistenza in trazione. Ad un allungamento positivo corrisponde un valore di ε positivo. Le deformazioni non sono limitate né ad ε_1 né ad ε_6 .

4.5) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni dell'acciaio per armatura

In trazione, ed analogamente in compressione, si adotta la seguente relazione tensioni-deformazioni (vedi EN 1992-1-2:2023 (E) § 5.3.2.1):



- $\sigma_s(\theta) = \varepsilon_s E_{s,\theta}$ per deformazioni comprese tra 0 e $\varepsilon_{sp,\theta}$;
- $\sigma_s(\theta) = f_{sp,\theta} + (\dots)$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{sp,\theta}$ e $\varepsilon_{sy,\theta}$;
- $\sigma_s(\theta) = f_{sy,\theta}$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{sy,\theta}$ e $\varepsilon_{st,\theta}$;

- $\sigma_s(\theta) = f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st,\theta}) / (\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{st,\theta}$ e $\varepsilon_{su,\theta}$;
- $\sigma_s(\theta) = 0,00$ per $\varepsilon_s = \varepsilon_{su,\theta}$;

essendo σ_s la resistenza, ε_s la deformazione ed E_s il modulo elastico,

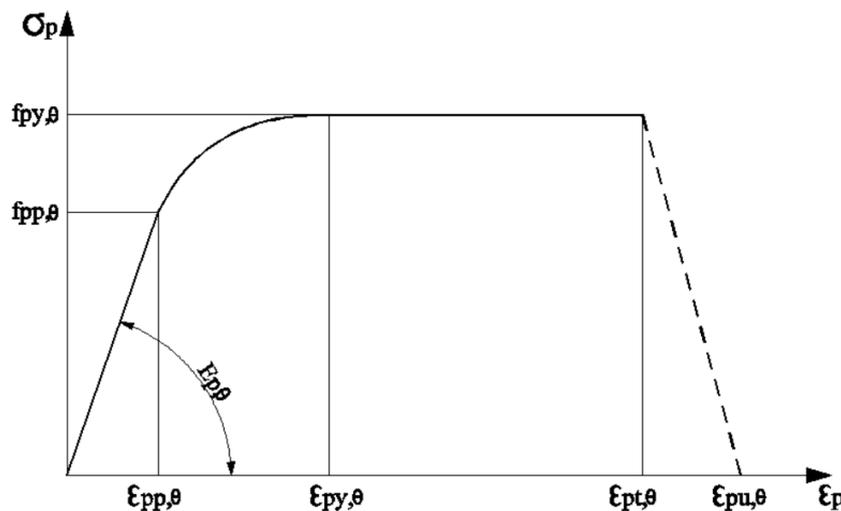
- $f_{sp,\theta}$, tensione al limite proporzionale;
- $f_{sy,\theta}$, tensione di snervamento ($f_{syd}(T)$);
- $\varepsilon_{sp,\theta}$, deformazione corrispondente al limite proporzionale;
- $\varepsilon_{sy,\theta}$, deformazione allo snervamento;
- $\varepsilon_{st,\theta}$, limite deformazione per la resistenza allo snervamento;
- $\varepsilon_{su,\theta}$, deformazione ultima;

con le grandezze funzione della temperatura θ raggiunta nel materiale.

Per (...) vedi EN 1992-1-2:2023 (E) Tab.5.2

4.6) Diagrammi di calcolo sforzi-deformazioni dell'acciaio di precompressione

In trazione, ed analogamente in compressione, si adotta la seguente relazione tensioni-deformazioni (vedi EN 1992-1-2:2023 (E) § 5.3.2.1):



- $\sigma_p(\theta) = \varepsilon_p E_{p,\theta}$ per deformazioni comprese tra 0 e $\varepsilon_{pp,\theta}$;
- $\sigma_p(\theta) = f_{pp,\theta} + (\dots)$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{pp,\theta}$ e $\varepsilon_{py,\theta}$;
- $\sigma_p(\theta) = f_{py,\theta}$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{py,\theta}$ e $\varepsilon_{pt,\theta}$;
- $\sigma_p(\theta) = f_{py,\theta} [1 - (\varepsilon_p - \varepsilon_{pt,\theta}) / (\varepsilon_{pu,\theta} - \varepsilon_{pt,\theta})]$ per deformazioni comprese tra $\varepsilon_{pt,\theta}$ e $\varepsilon_{pu,\theta}$;
- $\sigma_p(\theta) = 0,00$ per $\varepsilon_p = \varepsilon_{pu,\theta}$;

essendo σ_p la resistenza, ε_p la deformazione ed E_p il modulo elastico,

- $f_{pp,\theta}$, tensione al limite proporzionale;
- $f_{py,\theta}$, tensione massima ($f_{pd}(T)$);
- $\varepsilon_{pp,\theta}$, deformazione corrispondente al limite proporzionale;
- $\varepsilon_{py,\theta}$, deformazione alla tensione massima;
- $\varepsilon_{pt,\theta}$, limite deformazione alla tensione massima;
- $\varepsilon_{pu,\theta}$, deformazione ultima;

con le grandezze funzione della temperatura θ raggiunta nel materiale.

Per (...) vedi EN 1992-1-2:2023 (E) Tab.5.2

Capitolo 5

I FILE AUTOLOAD

5.1) Introduzione

I file AutoLoad e/o FileLoad contengono informazioni che possono essere “caricate” dal programma in modo automatico o a seguito dell’opportuno ordine.

I file AutoLoad di ATS sono:

Autoload–ATS.UdM

che vengono caricati automaticamente all’avvio di ATS e ad ogni nuovo documento, mentre i FileLoad di ATS sono:

DataBase–ATS.SEZ

DataBase–ATS.ARM

DataBase–ATS.CAV

contenenti i dati relativi rispettivamente a varie geometrie di sezioni (*.SEZ), armature ordinarie (*.ARM) e armature di precompressione (*.CAV).

Tutti i file AutoLoad e FileLoad possono essere modificati e/o integrati dall’utente.

I file AutoLoad devono stare nella directory ...**ATS** e generalmente sono modificabili solo con l’autorizzazione dell’amministratore. I file FileLoad possono stare in qualunque directory.

5.2) Il file AutoLoad–ATS.UdM

I file AutoLoad–ATS.UdM contiene le informazioni relative alle unità di misura utilizzate dal programma. È modificabile dall’utente, il comando del menu sono **Unità\Unità di Misura\Carica Unità...** e **Unità\Unità di Misura\Salva Unità...** che permettono di caricare le unità di misura in un documento oppure di registrare le unità di misura del documento corrente su file.

5.3) Il file AutoLoad delle grandezze

I file DataBase–ATS.SEZ, DataBase–ATS.ARM e DataBase–ATS.CAV, contengono le informazioni relative alle grandezze, rispettivamente, della geometria delle sezioni, delle armature ordinarie e delle armature di precompressione. I nomi dei FileLoad possono essere arbitrari.

Per caricare i dati da un FileLoad (.SEZ, .ARM, .CAV) occorre attivare il flag **Load Dati da File** nella relativa finestra di assegnazione (sezione, armature, cavi) poi aprire il file che la contiene e selezionare il nome della grandezza interessata.

Il contenuto di questi file è modificabile con il comando di menu **Inserisci\Gestione data base\...** e relativi sottocomandi.

- Aprire il file (ad esempio DataBase-ATS.SEZ);
- selezionare (se Sostituisce o Cancella) o meno l’elemento desiderato;
- inserire il nome dell’elemento (codice);

- selezionare un comando tra: Aggiunge, Sostituisce o cancella.
- completare premendo il tasto OK.

Con il comando Aggiunge e Sostituisce l'elemento corrente, cioè l'elemento dell'esempio in corso, è posto in aggiunta o sostituzione nel file del DataBase.

---000---