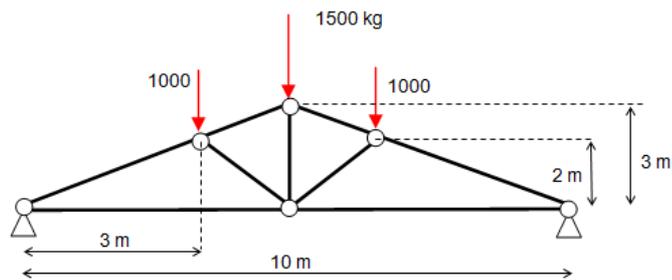


Telai.Az

Software per il calcolo strutturale di telai piani e spaziali
(anche strutture reticolari, solai e travi di fondazione)

(versione 9.0)



Manuale d'uso

Autore

Ing. **Ciro Azzara**

Via E. Majorana, 8 – 90035 Maroneo (PA)

Cell. 348 1514947

email: ing.azzara@libero.it azzara.ciro@gmail.com

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. AVVIO DEL SOFTWARE.....	5
3. INPUT - SISTEMI DI RIFERIMENTO E CONVENZIONI.....	7
3.1 Sistema di riferimento Globale.....	8
3.2 Sistemi di riferimento Locali.....	9
3.3 Convenzioni	9
4. DATI GENERALI	11
4.1 Unità di misura	12
4.2 Normativa di riferimento	13
4.3 Dati costruzione.....	14
5. SEZIONI	15
6. MENÙ MATERIALI.....	17
6.1 Cemento armato.....	17
6.2 Acciaio.....	18
6.3 Materiale generico.....	19
6.4 Terreno di fondazione.....	19
7. MENÙ GEOMETRIA.....	19
7.1 Coordinate Nodi	19
7.2 Aste.....	20
7.3 Vincoli esterni.....	22
8. FORME DI CARICO	24
9. MENÙ CARICHI	25
9.1 Carichi nodali.....	25
9.2 Carichi distribuiti.....	26
9.3 Carichi termici.....	27
10. COMB. CARICO	27
10.1 Combinazioni di carico allo SLU	27
10.2 Combinazioni di carico allo SLE.....	30
11. MENÙ VERIFICHE	31
11.1 Comportamento strutturale sotto sisma	31
11.2 Calcolo/verifiche armature	31

Telai.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 3 di 98
--	----------------------	--------------

11.3	Verifiche SLE strutture in c.a.	34
12.	IMPOSTAZIONI.....	34
13.	CALCOLO	36
13.1	Risoluzione di travi singole.....	36
14.	OUTPUT.....	36
14.1	Menù VISUALIZZA	37
15.	LICENZA D'USO E RESTRIZIONI	41
	APPENDICE 1 - NOVITÀ VERSIONI SOFTWARE TELAI.AZ.....	43
	APPENDICE 2 – GESTIONE ERRORI E REQUISITI DI SISTEMA.....	44
	APPENDICE 3 - SULLE COMBINAZIONI DI CARICO	45
	APPENDICE 3 - ESEMPI APPLICATIVI E DI VALIDAZIONE DEL CODICE.....	50
	Esempio 1 – Mensola.....	50
	Esempio 2 – Trave con cedimento vincolare.....	53
	Esempio 3 – Calcolo pensilina in acciaio.....	56
	Esempio 4 – Calcolo telaio piano in acciaio.....	61
	Esempio 5 – Analisi delle sollecitazioni per un solaio in latero-cemento	66
	Esempio 6 – Calcolo telaio piano di edificio a due piani	71
	Esempio 7 – Trave reticolare piana	75
	Esempio 8 – Trave di fondazione su suolo elastico	77
	Esempio 9 - Trave di fondazione su suolo elastico.....	82
	Esempio 10 – Calcolo telaio piano con carico termico.....	89
	Esempio 11 – Calcolo telaio spaziale (edificio a tre piani).....	92
	BIBLIOGRAFIA	98

1. INTRODUZIONE

Il presente applicativo, sviluppato in ambiente Microsoft Excel^{®1}, effettua il calcolo di **strutture intelaiate piane e spaziali in cemento armato (C.A.) e/o in acciaio e/o in materiale generico**.

La **geometria del telaio** (al limite composto anche da una sola asta) può essere di qualunque tipo senza alcuna limitazione sul numero di nodi e sul numero di aste. I **carichi** che agiscono sulla struttura possono essere concentrati sui nodi e/o ripartiti lungo le aste. Possono essere gestiti anche i **carichi termici** applicati alle aste.

L'**analisi strutturale** (calcolo delle caratteristiche di sollecitazione nelle aste), le **verifiche di resistenza** e le **verifiche di stabilità** possono essere effettuate sia con il **Metodo delle Tensioni Ammissibili**, di cui al D.M. 11/02/1992, che con il metodo agli **Stati Limite Ultimi (SLU)** di cui ai D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche sulle Costruzioni) e al recente **D.M. 17/01/2018** (aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, nel seguito **NTC** o **NTC 2018**).

Il software effettua le verifiche per tutte le **combinazioni di carico** che possono essere **generate in automatico**, al fine di ottenere le massime sollecitazioni nelle varie aste della struttura.

È possibile effettuare il **calcolo di progetto o di verifica delle armature longitudinali e trasversali** e ottenere i **disegni degli esecutivi**, anche in **file dxf**.

Il software ha il seguente campo di applicazione:

- aste rettilinee² a sezione costante (la sezione può variare da asta ad asta)
- materiale omogeneo in ogni asta (il materiale può variare da asta ad asta)
- vincoli esterni di qualunque tipo (incastro, cerniera, bipendolo ...), anche cedevoli elasticamente e/o inclinati
- spostamenti imposti (es. cedimenti vincolari)
- vincoli di estremità delle aste di tipo incastro o cerniera o bipendolo
- carichi sulle aste ripartiti in modo uniforme, triangolare e a trapezio
- carichi termici (distorsioni) sulle aste, di tipo uniforme e/o a farfalla
- carichi concentrati sui nodi del telaio.

Il software consente anche il calcolo:

- delle **strutture reticolari** (strutture con nodi tutti cerniera), sia piane che spaziali
- dei **solai in latero-cemento** (travi continue - strutture piane)
- delle **travi di fondazione elastiche su suolo elastico** (strutture piane).

¹ Per l'utilizzo di *Telai.Az* è necessario che l'utente disponga del software Microsoft Excel[®] con regolare licenza d'uso.

² Travi, pilastri, tiranti, puntoni, ...

Telai.Az effettua altresì (NTC 2008 e NTC 2018) le verifiche agli **Stati Limite di Esercizio** (SLE) per le strutture in c.a.:

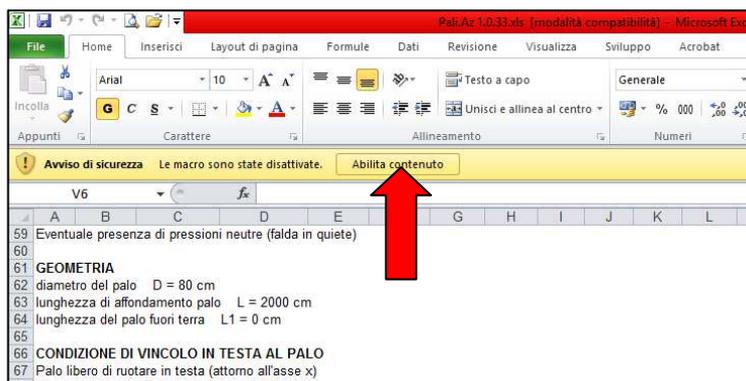
- *Verifica di fessurazione*
- *Verifica alle tensioni di esercizio*
- *Verifica di deformazione*

Per le aste in acciaio le verifiche SLE vengono eseguite in termini di spostamenti.

Come per ogni software tecnico, l'utente di *Telai.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Scienza e Tecnica delle Costruzioni) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software; è sempre necessario che l'utente verifichi l'attendibilità dei risultati ottenuti.

L'applicativo, abbastanza semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali.

2. AVVIO DEL SOFTWARE



Il file contenente l'applicativo si **installa** come uno comune file e può essere allocato in qualsiasi cartella.

Per il funzionamento del software occorre che alla sua apertura le **macro** ivi inserite vengano attivate.

Se compare l'*Avviso di sicurezza* di cui all'immagine accanto occorre premere sul pulsante "*Abilita contenuto*".

Se non compare la schermata di presentazione del programma di cui alla Fig. 1 (il che vuol dire che le macro non si sono attivate), occorre impostare il livello di protezione delle macro a "medio" o "basso". Per fare ciò occorre:

- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 1997, 2000, 2003: scegliere il menù *Strumenti*, quindi *Macro*, *Protezione* e scegliere il livello di protezione: se si sceglie "media" occorre premere il bottone "attiva macro" quando si aprirà l'applicativo *Telai.Az*;
- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 2007, 2010, 2013 o successivo: occorre mantenere il file come *Cartella di lavoro di Excel 97-2003* e visualizzare il menù **Sviluppo** con la seguente procedura:
 - con Excel 2007: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Impostazioni generali** e quindi selezionare la casella di controllo **Mostra scheda Sviluppo sulla barra multifunzione**;

Telai.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 6 di 98
--	----------------------	--------------

- con Excel 2010/2013: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Personalizza barra multifunzione** e spuntare, nell'elenco *Schede principali*, la voce *Sviluppo*.

Successivamente dal menù Sviluppo scegliere **Protezione macro** => **Impostazioni macro** => scegliere **Attiva tutte le macro** o **Disattiva tutte le macro con notifica**, quindi chiudere e riaprire *Telai.Az*. Nella barra dei menù in alto a destra si formerà il menù "*Componenti aggiuntivi*" che comprenderà i menù personalizzati di *Telai.Az*.

Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall'autore. A tale scopo l'utente deve preventivamente comunicare all'autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno "-". Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d'uso.

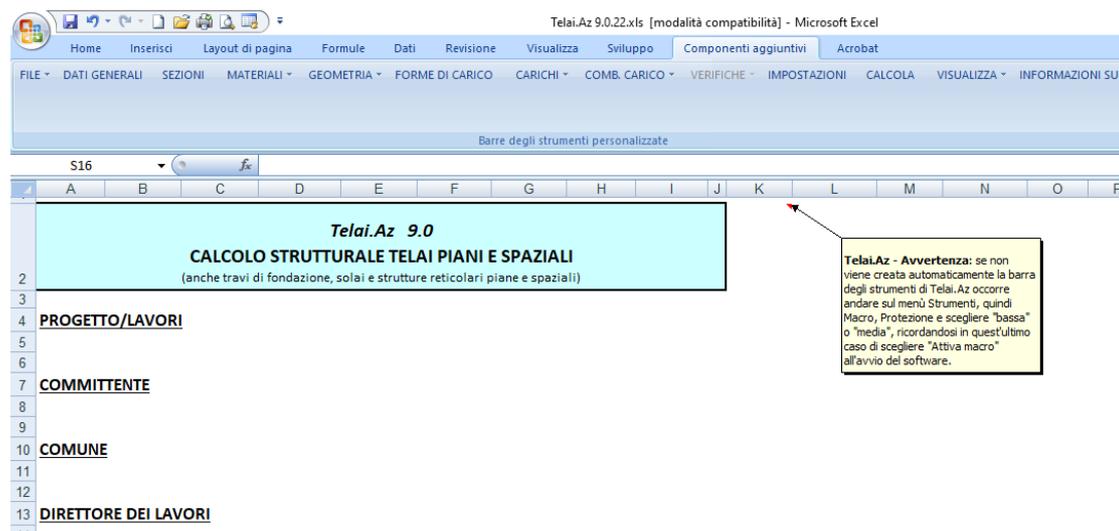
Il software non attivato è comunque funzionante per un certo periodo di tempo e per un determinato numero di volte ma **non può essere utilizzato per scopi professionali** (il tabulato di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

Avviato il software (anche se non attivato) appare la seguente schermata di presentazione in cui è indicato, tra l'altro, il titolare della licenza d'uso.



Fig. 1 Schermata di presentazione del software

Chiusa la schermata di presentazione, l'area di lavoro di *Telai.Az* si presenta come segue (notare la barra menù personalizzata, che in Excel 2007/2010/2013 e successivi è sotto il menù **Componenti aggiuntivi**):



Il **menù FILE** contiene i comandi per:

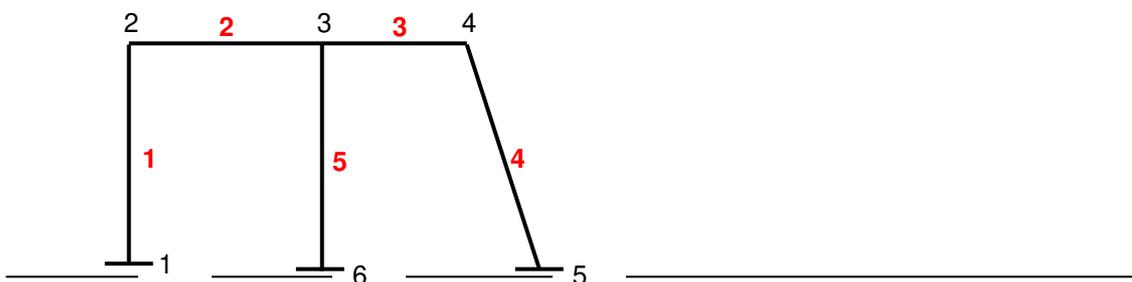
- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;
- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;
- stampare il tabulato di calcolo e i disegni;
- impostare l'area di stampa (per il tabulato, grafici, esecutivi in C.A. ecc.);
- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

3. INPUT - Sistemi di riferimento e convenzioni

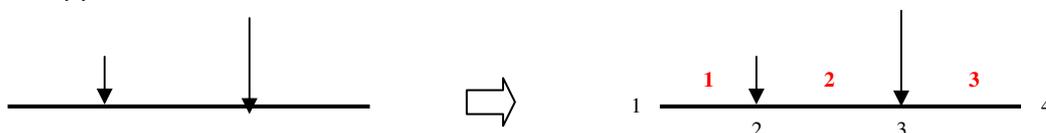
Per i dati di input rappresentati da numeri decimali usare il carattere virgola “,”. Durante la fase di inserimento dei dati di input è opportuno effettuare ogni tanto il “salvataggio” degli stessi per mezzo del menù FILE o premendo il relativo pulsante



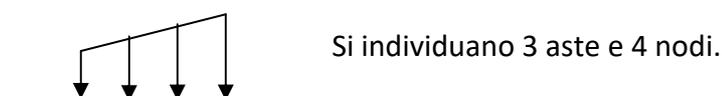
Per il telaio da calcolare, l'utente preliminarmente nello schema su carta provvede a numerare le aste (nella figura in colore rosso), a partire da 1 fino a N_a e i nodi (estremità delle aste), da 1 a N_n . Il numero delle aste (N_a) e quello dei nodi (N_n) vengono inseriti nel pannello DATI GENERALI. Nell'esempio seguente il telaio piano ha 6 nodi e 5 aste.



Ad ogni punto di applicazione di carichi concentrati deve corrispondere un nodo della struttura. Così, se per una data trave sono presenti due carichi concentrati, al fine di tenere conto di tali carichi si considera la trave formata da tre aste nei cui nodi in comune sono applicati i carichi concentrati.



Allo stesso modo si procede se sull'asta ci sono carichi distribuiti non su tutta l'asta:

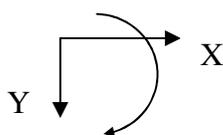


I nodi devono essere posti, inoltre, in corrispondenza dei collegamenti trave-pilastro, delle variazioni di direzione degli elementi strutturali, delle variazioni di forma geometrica delle sezioni e dei vincoli esterni.

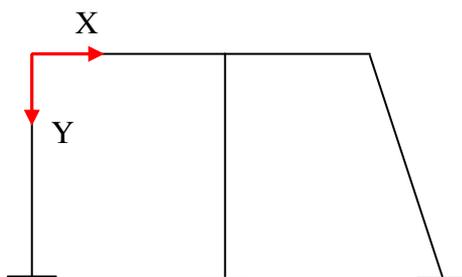
Nell'imputazione dei carichi distribuiti sull'asta occorre tenere conto della scelta sul calcolo automatico o meno del peso proprio della struttura (quando non si fa calcolare il peso proprio al software, esso sarà compreso, quando se ne vuole tenere conto, nei carichi esterni agenti sull'asta; viceversa, nel caso si richieda il calcolo automatico del peso proprio, nei carichi esterni non deve essere compresa l'aliquota dovuta al peso proprio dell'asta).

3.1 Sistema di riferimento Globale

Il sistema di riferimento globale XY, nel caso di **telai piani**, è del seguente tipo:



L'asse X è orizzontale diretto da sinistra verso destra, l'asse Y verticale (secondo la direzione della forza peso) diretto dall'alto verso il basso³, le rotazioni sono positive se orarie. L'utente può fissare a piacere l'origine del sistema di riferimento globale. Fissata l'origine l'utente deve determinare le coordinate assolute di ogni nodo della struttura, da inserire nel menù GEOMETRIA.



³ L'asse X deve ruotare di 90° in senso orario (verso positivo delle rotazioni) per sovrapporsi all'asse Y.

Nel caso di **telai spaziali** il sistema di riferimento globale XYZ destrorso è del seguente tipo:

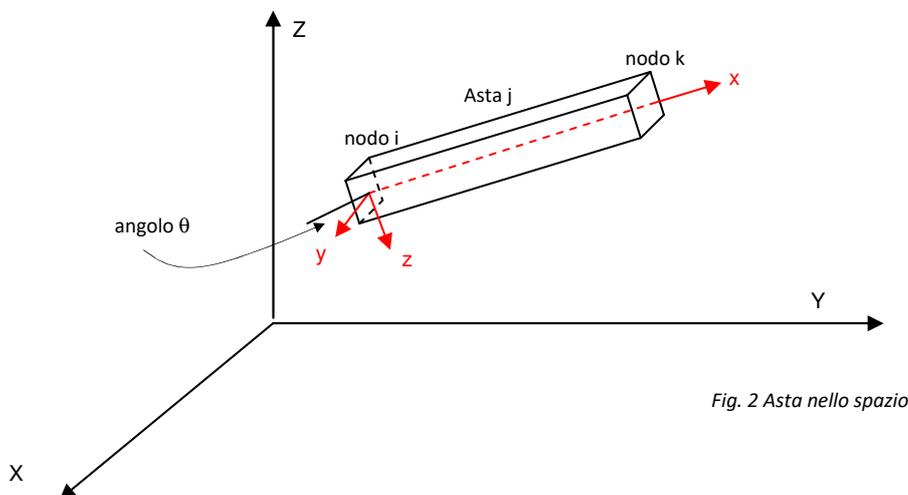


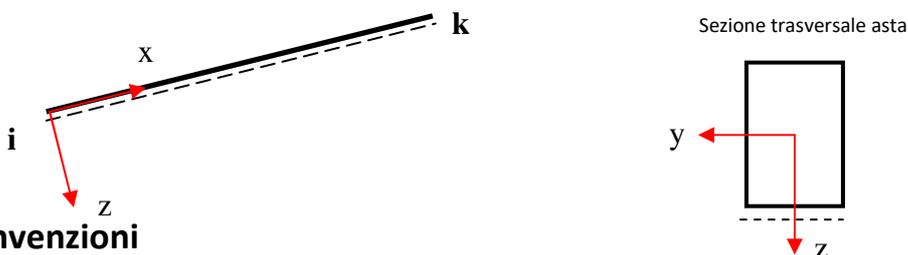
Fig. 2 Asta nello spazio

Gli assi X e Y definiscono il piano orizzontale e l'asse Z è verticale, secondo la direzione della forza peso e verso l'alto.

3.2 Sistemi di riferimento Locali

Ogni asta del telaio, di estremi **i** e **k**, avrà un suo sistema di riferimento locale **xyz**; l'origine del sistema di riferimento locale è sul nodo iniziale **i**, l'asse **x** coincide con l'asse dell'asta ed è diretto da **i** verso **k**, l'asse **z** è ortogonale all'asse **x** ed è diretto verso il lato basso dell'asta. Gli assi **y** e **z** sono gli assi principali di inerzia della sezione trasversale dell'asta.

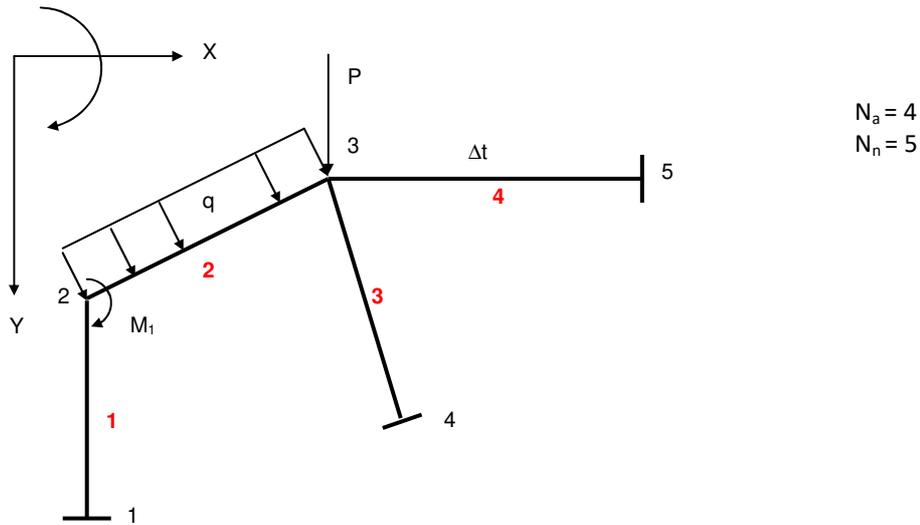
Il lato basso dell'asta è indicato dalla linea tratteggiata e viene scelto dall'utente per ogni asta. La scelta della parte inferiore dell'asta determina, per quanto evidenziato prima, il sistema di riferimento locale e, quindi, quali sono i nodi di inizio e di fine dell'asta. Allo stesso modo, la scelta del sistema di riferimento locale determina la parte inferiore dell'asta.



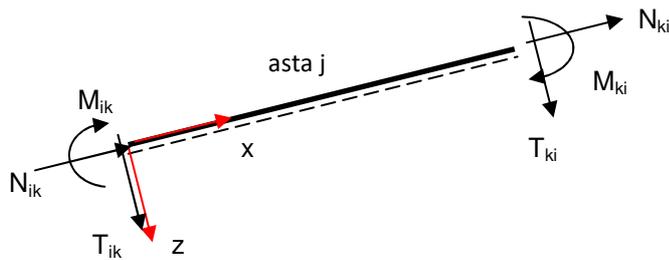
3.3 Convenzioni

I carichi concentrati applicati sui nodi della struttura si inseriscono con il segno che ne deriva dal sistema di riferimento globale assunto. I carichi distribuiti sulle aste si inseriscono, invece, con il segno che ne deriva dal sistema di riferimento locale assunto per l'asta.

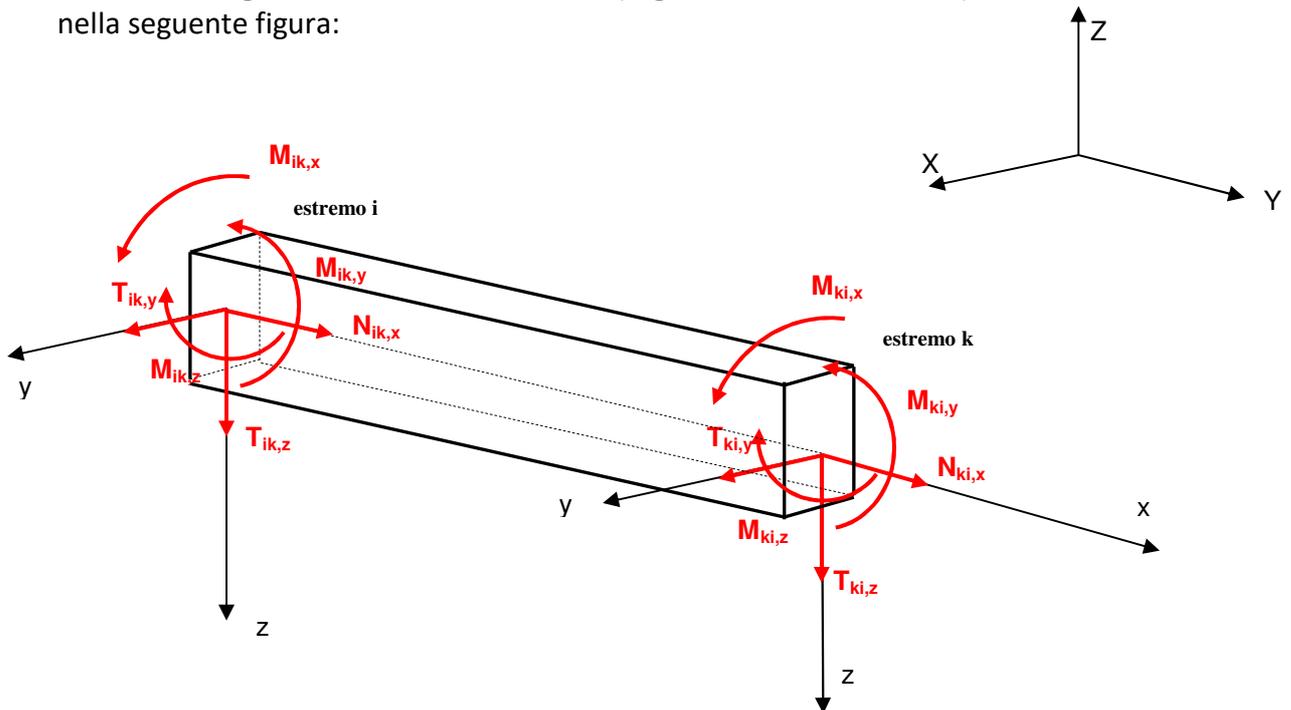
Nel caso di **telai 2D** sono positive le rotazioni e i momenti in verso orario.



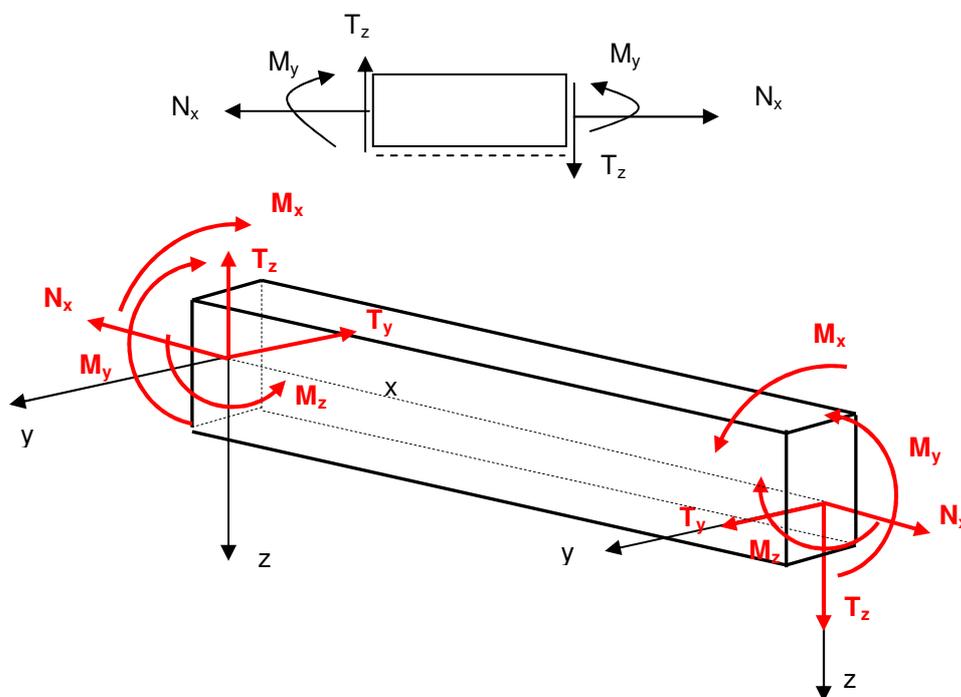
Le caratteristiche di sollecitazione di estremità N_{ik} , T_{ik} per l'estremo i e N_{ki} , T_{ki} per l'estremo k, sono positive se concordi con gli assi di riferimento locale



Nel caso di **telai spaziali** sono positive le rotazioni, gli spostamenti e le sollecitazioni concordi con gli assi di riferimento locali (regola della mano destra), come indicato nella seguente figura:



Ai fini del disegno dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione e delle verifiche di resistenza si assumono, sia per i telai piani che per quelli spaziali, le **convenzioni della Scienza delle costruzioni** e cioè si assumono positive le caratteristiche di sollecitazione se concordi con i versi di cui al seguente schema (concio di trave):



- sforzo normale N_x positivo se di trazione, negativo se di compressione
- sforzo di taglio T_y e T_z positivi se diretti rispettivamente come l'asse y e z sulla faccia destra del concio
- momento torcente M_x positivo se l'asse momento è concorde con l'asse x (rotazione antioraria della sezione) nella faccia destra del concio
- momento flettente M_y positivo se l'asse momento è concorde con l'asse y (fibre tese quelle inferiori dell'asta poste nel semiasse positivo dell'asse z) nella faccia destra del concio
- momento flettente M_z positivo se l'asse momento è concorde con l'asse z (fibre tese quelle poste nel semiasse negativo di y) nella faccia destra del concio.

4. DATI GENERALI

In questo pannello si inseriscono i dati generali sul calcolo da effettuare.

Il nominativo indicato nel campo "Progettista/Tecnico" viene riportato in calce alla relazione di calcolo.

Occorre specificare il **Tipo di struttura** che si deve calcolare (telaio piano o spaziale o trave di fondazione in c.a. su suolo elastico). Occorre quindi inserire il **numero delle aste** e il **numero dei nodi** che compongono la struttura. Nel caso di trave di

fondazione su suolo elastico non è necessario indicare il numero dei nodi in quanto è pari al numero delle campate più uno (N_a+1). Se si sta calcolando una struttura reticolare, avente tutti i nodi cerniera, occorre spuntare la relativa opzione.

Il programma, se si vuole, consente il calcolo in automatico del peso proprio delle aste in funzione dei dati geometrici e del peso dell'unità di

volume del materiale costituente l'asta; gli effetti del peso proprio saranno sommati a quelli dei carichi esterni.

Le verifiche di resistenza (SLU) sono possibili in presenza di materiali C.A. e/o acciaio. Per le aste in C.A. vengono calcolate, o verificate se inserite o modificate dall'utente, le armature longitudinali a flessione e trasversali a taglio e torsione.

Le verifiche di stabilità, quando richieste, sono:

- carico di punta per le aste pilastro compresse in c.a.;
- carico di punta e/o svergolamento per le aste in acciaio.

Le verifiche allo SLE sono possibili con le NTC 2008 e 2018.

4.1 Unità di misura

Per le unità di misura si può adottare sia il Sistema Tecnico che il Sistema Internazionale:

grandezza	u.m.	
	Sistema Tecnico	Sistema Internazionale
dimensioni geometriche sezioni, lunghezze aste, coordinate nodi, spostamenti, copriferro e interferro [L]	cm	cm

Telai.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 13 di 98
---	----------------------	---------------

diametri tondini metallici e staffe	mm	mm
aree sezioni	cm ²	cm ²
momenti statici e moduli W di resistenza sezioni	cm ³	cm ³
momenti di inerzia sezioni I	cm ⁴	cm ⁴
forze concentrate, sforzi normali e di taglio [F]	kg	kN
momenti flettenti e torcenti, coppie, rigidezze rotazionali vincoli	Kg m	KN m
coppie distribuite	Kg m/m	KN m/m
carichi distribuiti, rigidezze traslazionali vincoli	kg/m	kN/m
tensioni nei materiali, resistenze caratteristiche, tensioni ammissibili, moduli elastici dei materiali	kg/cm ²	N/mm ²
pesi specifici materiali	kg/m ³	kN/m ³
costante di sottofondo o di Winkler	kg/cm ³	N/cm ³
coefficiente di dilatazione termica dei materiali	°C ⁻¹	°C ⁻¹
tempi [T]	sec	sec
velocità	m/s	m/s
accelerazioni	m/s ²	m/s ²

Attenzione: quando si varia il sistema di riferimento (ad esempio da S.T. a S.I.) con i dati di input già inseriti, ricordarsi di cambiare i valori dei vari parametri di input per adeguarli alle nuove unità di misura; ad esempio il valore di Rck del calcestruzzo di 250 (kg/cmq) nel S.T. diventa 25 (N/mm²) nel S.I.

4.2 Normativa di riferimento

Scegliendo il D.M. 14/02/1992, il software effettua l'analisi strutturale e le verifiche di resistenza con il metodo delle Tensioni Ammissibili. Con il D.M. 14/01/2008 e con il D.M. 17/01/2018 (**NTC**), invece, si procede con le verifiche agli Stati Limite.

Si ricorda che quest'ultima metodologia è basata:

- sull'introduzione dei coefficienti parziali sulle azioni γ_F (amplificazione delle azioni⁴);
- sull'introduzione dei coefficienti parziali γ_M sui parametri di resistenza dei materiali (calcestruzzo, acciaio, ...), con conseguente abbattimento delle resistenze dei materiali;
- su una differente e più sofisticata metodologia di calcolo dell'azione sismica;
- sul calcolo delle resistenze delle membrature, secondo modelli teorici e/o sperimentali, e sul confronto con le caratteristiche di sollecitazioni agenti.

I **coefficienti parziali** γ_F relativi alle azioni (A), stabiliti dalle NTC, sono i seguenti:

⁴ V. pannello COMB. CARICO.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

I **coefficienti parziali** γ_M relativi ai materiali (calcestruzzo, acciaio ecc), stabiliti dalle NTC, sono indicati in seguito.

Il calcolo strutturale per le combinazioni non sismiche viene effettuato con i coefficienti parziali A1+M1. Nelle combinazioni sismiche le azioni permanenti e accidentali non vengono amplificate (A0+M1).

Da notare che i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici previsti dalla NTC 2018 sono gli stessi di quelli previsti dalle NTC 2008.

4.3 Dati costruzione

I dati sulla costruzione, che incidono tra l'altro sul calcolo dell'azione sismica, vanno

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

inseriti quando si procede con le NTC 2008 o con le NTC 2018.

La vita nominale di progetto V_N

dell'opera strutturale si individua in base alle indicazioni della tabella 2.4.I delle NTC.

La Classe d'uso si fissa, tra le quattro previste dalla norma di cui al paragrafo 2.4.2. NTC, avuto riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Alla classe d'uso fissata corrisponde il coefficiente d'uso di cui alla tabella 2.4.II.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

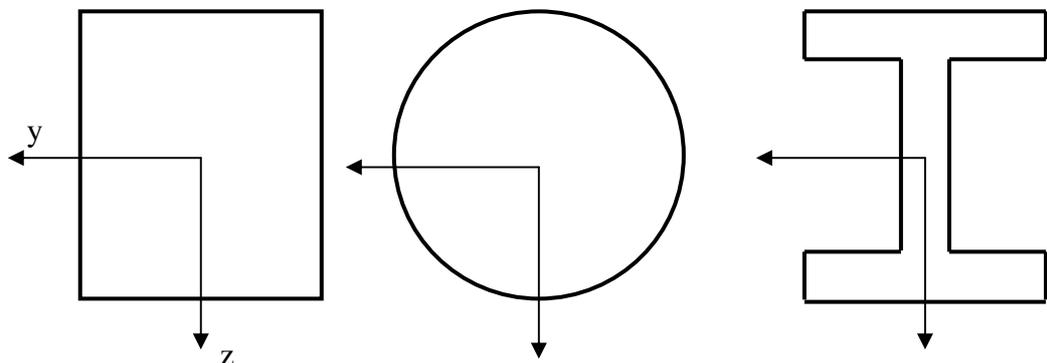
CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adoteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

5. SEZIONI

Con questo menù vengono create le sezioni trasversali di progetto che verranno successivamente assegnate alle aste (*GEOMETRIA>Aste*). Possono essere create sezioni di forma:

- Rettangolare
- Circolare
- a doppio T
- a T
- a T rovescia
- Tubolare a sez. circolare
- Tubolare a sez. rettangolare (scatolare)
- generica



Occorre dare un **nome** alla sezione (che comparirà nel menù a tendina del pannello ASTE per l'assegnazione alle singole aste), ed inserire i parametri geometrici che individuano la sezione.

Per le sezioni in acciaio calcolate agli stati limite occorre inserire la **classe della sezione** (1, 2, 3, 4).

Le dimensioni B e H entrano in gioco anche nell'analisi strutturale quando è presente l'azione termica.

Il bottone **Calcola** consente di determinare l'area A, i momenti d'inerzia I_y e I_z e torsionale I_x (indicato anche con I_t) e gli altri parametri geometrici e statici che serviranno in sede di calcolo e di verifica delle sezioni. Nel caso di sezione generica occorre inserire l'area A della sezione e il momento di inerzia I_y (nel caso di telai spaziali anche I_x e I_z).

DATI GEOMETRICI E STATICI DELLE SEZIONI DI PROGETTO

Elenco sezioni presenti in progetto

N°	forma	Nome
1	a doppio T	IPE200

Sezione n° 1

Nome/Descrizione (es. HEA220): IPE200
 Forma sezione: a doppio T
 profilato in acciaio a doppio T commerciale (dati tabellati) IPE 200

dimensioni sezione

10	base B (cm)	20	altezza H (cm)
0,56	spessore t_w anima	0,85	spessore t_f ali (cm)
1,2	raggio r di raccordo anima-ali (cm)		

Classe della sezione (solo x sezioni in acciaio)

28,5	area A (cm ²)
1943	momento d'inerzia I_y (cm ⁴)
142	momento d'inerzia I_z (cm ⁴)
194	modulo di resistenza W_{y} (cm ³)
28,5	modulo di resistenza W_{z} (cm ³)
8,26	raggio giratore di inerzia i_y (cm)
2,24	raggio giratore di inerzia i_z (cm)
220,639	modulo resistenza plastico W_{pl_y} (cm ³)
44,612	modulo resistenza plastico W_{pl_z} (cm ³)
5,165	modulo d'inerzia torsionale I_t (cm ⁴)

Inseriti o calcolati i vari parametri occorre salvarli cliccando sul tasto **Salva sezione**. Il procedimento si ripete per ogni altra sezione che si vuole creare premendo su **Nuova SEZIONE**. Nella lista in alto a sinistra compaiono i nomi delle sezioni create.

I tasti **Modifica** ed **Elimina** consentono, rispettivamente, di modificare una sezione presente nella lista di sinistra o di eliminarla. Dopo avere modificato i dati della sezione occorre premere sul tasto in alto a sinistra **Carica modif**.

Quando è presente tra i materiali da costruzione l'acciaio e la sezione da creare ha forma "a doppio T" si può spuntare la voce "**profilato in acciaio a doppio T commerciale (dati tabellati)**" e scegliere tra le seguenti classi di profilati: **IPE, HEA, HEB, HEM, NP**. In questo caso le dimensioni della sezione e gli altri elementi geometrici vengono caricati dagli archivi presenti nel software, salva sempre la possibilità per l'utente di modificare gli stessi dati.

Si fa evidenziare che se nel telaio è presente una o più **aste infinitamente rigide**, se ne può tenere conto creando una sezione di dimensioni molto maggiore delle altre presenti nella struttura di modo che i momenti di inerzia e quindi la rigidità associata assumano valori molto maggiori di quelli delle altre aste; se serve si può anche inserire il relativo modulo elastico longitudinale molto alto (ad esempio utilizzando il "materiale generico" da associare all'asta).

6. Menù MATERIALI

Con questo menù vengono definite le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali presenti nella struttura.

6.1 Cemento armato

DATI MATERIALE CEMENTO ARMATO

250] resistenza caratt. cubica del cls, Rck (kg/cmq)
Classe di resistenza: C25/30

B450C] tipo di acciaio

imposta parametri calcola parametri cancella dati

306582	modulo elastico longit. cls Ec (kg/cmq)
2100000	modulo elastico longit. acciaio Es (kg/cmq)
2500	peso specifico C.A. (kg/mc)
0,2	coefficiente di Poisson
127742	modulo elastico trasversale cls G (kg/cmq)
0,00001	coefficiente di dilatazione termica lineare (°C-1)
15	coefficiente di omogeneizzazione n

VERIFICHE SEZIONI ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

	tens. ammiss. di compressione nel cls (kg/cmq)
	tens. tang. ammiss. nel cls, tc0 (kg/cmq)
	tens. tang. ammiss. nel cls, tc1 (kg/cmq)
	tens. ammiss. acciaio (kg/cmq)
	tens. ammiss. convenzionale acciaio (kg/cmq)

Annulla Salva e chiudi

VERIFICHE SEZIONI AGLI S.L.U.

Diagramma di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo

<input type="radio"/> parabola-rettangolo (preferibile)	0,2	deformazione ec2 (%)
<input checked="" type="radio"/> triangolo-rettangolo	0,175	deformazione ec3 (%)
<input type="radio"/> rettangolo o stress block	0,07	deformazione ec4 (%)
	0,35	deformazione di rottura (%)

1,5	coeff. parziale di sicurezza calcestruzzo
289,05	resist. media a compress. cilindrica, fcm (kg/cmq)
207,5	resist. caratt. a compress. cilindrica, fck (kg/cmq)
117,58	resist. di calcolo a compressione, fcd (kg/cmq)
22,8	resist. media a trazione, fctm (kg/cmq)
15,96	resist. caratteristica a trazione, fctk (kg/cmq)
10,64	resist. di calcolo a trazione, fctd (kg/cmq)

Diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio

<input checked="" type="radio"/> elastico-perfettamente plastico	6,75	deformazione a rottura (%)
<input type="radio"/> bilineare con incrudimento	1,2	rapporto di sovrarresistenza k (>1)

1,15	coeff. parziale di sicurezza acciaio
4500	tensione caratt. di snervam. acciaio, fyk (kg/cmq)
3913,04	resistenza di calcolo acciaio, fyd (kg/cmq)

Per l'analisi strutturale (calcolo delle caratteristiche di sollecitazione) occorre inserire:

- il peso specifico ρ del materiale (necessario quando si è scelto di effettuare il calcolo automatico del peso proprio della struttura)
- il modulo elastico longitudinale E_c del cls (può essere calcolato in funzione della resistenza cubica R_{ck} del cls, come da formula proposta dalla normativa)
- il coefficiente di Poisson ν e il modulo elastico trasversale G del cls, necessari nel caso di telai spaziali (G può essere calcolato con la seguente espressione utilizzata dal software $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$)
- il coefficiente di dilatazione termica lineare α (necessario in presenza di carichi termici).

I valori proposti dal software per il c.a. sono i seguenti:

$$\rho = 2500 \text{ kg} / \text{m}^3 = 25 \text{ kN} / \text{m}^3 \quad \nu = 0,2 \quad \alpha = 10 \cdot 10^{-6} = 0,000010$$

Per le verifiche di resistenza e di stabilità delle aste occorre precisare:

- la resistenza caratteristica cubica R_{ck} del calcestruzzo;
- il tipo di acciaio (Fe B 22 k, Fe B 32 k, Fe B 38 k, Fe B 44 k con il metodo alle T.A.; B450C con le nuove normative NTC);

- le tensioni caratteristiche di snervamento, di rottura, la tensione ammissibile e i coefficienti parziali di sicurezza del materiale (possono essere determinati in automatico, in base alle indicazioni della normativa di riferimento e in funzione del tipo di acciaio).

6.3 Materiale generico

Per il materiale generico occorre limitarsi ad inserire i parametri necessari per l'analisi strutturale.

Le verifiche di resistenza e di stabilità, infatti, non vengono eseguite non essendo definiti i modelli di calcolo tensioni-deformazioni del materiale e le norme applicabili.

6.4 Terreno di fondazione

Asta	Kt (kg/cm²)
1 - 2	12
2 - 3	8
3 - 4	10

Quando si effettua il calcolo di una trave di fondazione, si deve specificare, per ogni tratto di trave a contatto con il terreno, il coefficiente di reazione del sottosuolo, detto anche coefficiente di Winkler.

7. Menù GEOMETRIA

7.1 Coordinate Nodi

Per ognuno dei nodi presenti nella struttura (selezionabili dalla cella in alto a sinistra) occorre inserire le coordinate assolute X, Y nel sistema di riferimento globale assunto (anche Z per i telai spaziali).

Le coordinate possono essere inserite direttamente in tabella cliccando su "Visualizza/modifica in foglio dati",

consentendo la velocizzazione di input qualora le coordinate dei nodi siano già disponibili (copia-incolla):

Inserire/modificare le coordinate dei N_n nodi presenti nella struttura. La numerazione è progressiva, da 1 a N_n .
Nel caso di telaio piano $Z=0$ per ogni nodo

COORDINATE NODI

NODO	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0	200	0
2	0	0	0
3	300	0	0

7.2 Aste

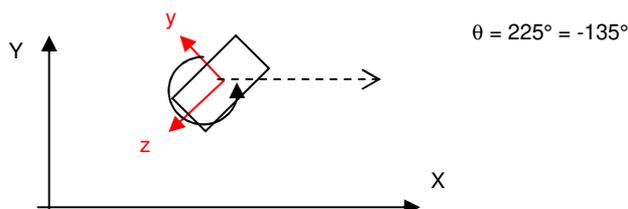
Permette di inserire i dati che riguardano ogni singola asta e cioè:

- i numeri (interi) che indicano i nodi di inizio **i** e di fine **k** dell'asta. Nel caso di telai spaziali e aste verticali (pilastri ortogonali al piano orizzontale XY), il nodo iniziale "i" deve essere quello in basso (avente coordinata Z minore) e il nodo finale "k" quello più in alto, in modo che l'asse locale x dell'asta sia orientato verso l'alto come l'asse globale Z;
- la tipologia di vincoli di estremità (**Incastro** o **Cerniera** o **Bipendolo**⁶), tenendo conto per i nodi esterni se si procede con la risoluzione a "vincoli interni" o a "vincoli esterni" (vedi paragrafo successivo);

⁶ Nel caso si voglia considerare un vincolo bipendolo interno che collega due aste a_1 e a_2 il bipendolo va inserito una sola volta, o come vincolo finale di un'asta a_1 (il vincolo iniziale dell'asta successiva a_2 sarà incastro) o come vincolo iniziale dell'asta a_2 (il vincolo finale dell'asta a_1 sarà incastro). Se, infatti, si considera il bipendolo come finale di a_1 e iniziale di a_2 sarà inserito il doppio bipendolo o quadripendolo che ha molteplicità 1 e offre come reazione il solo momento.

- l'angolo Teta ($^{\circ}$), solo per i telai spaziali, che serve ad orientare l'asta nello spazio:

a) **per le aste verticali** (hanno asse ortogonale al piano orizzontale XY), il cui asse locale x deve sempre essere orientato dal basso verso l'alto (come l'asse globale Z), Teta è l'angolo, compreso tra 0° e 360° , che l'asse locale y dell'asta forma in senso antiorario con l'asse globale X (oppure l'angolo, compreso tra -180° e 180° , che l'asse locale y dell'asta forma con l'asse globale X, positivo se antiorario)



b) **per le aste non verticali** Teta è l'angolo (fig. 2 pag. 9), compreso tra -90° e 90° , che l'asse locale y forma nel piano yz con la retta orizzontale (intersezione tra il piano orizzontale passante per il nodo "i" e il piano yz) passante per il nodo "i", assunto positivo se orario con vista dal nodo k al nodo i. L'angolo θ serve quindi ad orientare l'asta nello spazio (rotazione assi locali yz e sezione trasversale attorno all'asse locale x) ed in genere nelle pratiche applicazioni assume, per le aste non verticali, valore nullo.

- la sezione (le cui caratteristiche geometriche sono state definite nel menù SEZIONI);
- il materiale costituente l'asta.

Per le aste in C.A. è necessario specificare, quando si è richiesto di effettuare le verifiche di resistenza, se trattasi di "pilastro" o "trave" in modo che si tenga conto delle diverse limitazioni per l'armatura che la normativa prevede per le due fattispecie.

I coefficienti Beta per la verifica a carico di punta tengono conto delle condizioni di vincolo dell'asta nei due piani di inflessione locali xz e xy. Quando l'inflessione laterale è possibile solo nel piano locale xz occorre tenere basso il coefficiente β_z (ad es. 0,5 o anche meno purché diverso da zero).

Inseriti i dati relativi ad un'asta occorre premere il pulsante **Salva dati ASTA** e passare all'asta successiva.

Anche qui i dati possono essere inseriti direttamente in tabella cliccando su "Visualizza/modifica in foglio dati", consentendo la velocizzazione di input con il copia-incolla o il trascinamento delle celle:

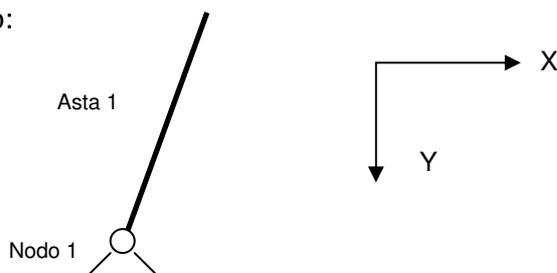
c) spostamento libero e quindi incognito (non spuntare nessuna delle precedenti due opzioni).

Ad esempio, nel caso di vincolo esterno incastro perfetto occorre spuntare per i tre movimenti nodali la casella "nullo o assegnato" e inserire il valore 0 (zero).

- per i telai spaziali: si procede analogamente con riferimento ai sei movimenti del vincolo (traslazioni lungo X, Y e Z, rotazioni attorno agli assi X, Y e Z).

Per i vincoli esterni le informazioni sugli spostamenti nodali impediti si inseriscono tenendo conto che è possibile effettuare la risoluzione a "**vincoli esterni**" o a "**vincoli interni**". Quando si procede a vincoli esterni (preferibile) nell'inserire il vincolo di estremità dell'asta (v. pannello ASTE) occorre inserire "incastro" e tenere conto del tipo di vincolo esterno nell'inserimento dei movimenti nodali (movimenti incogniti o noti a seconda del caso). Nel caso invece in cui si procede a vincoli interni, i movimenti nodali sono tutti nulli e si tiene conto del vincolo quando si inserisce il vincolo di estremità dell'asta.

Esempio:



Risoluzione a vincoli esterni (preferibile): il vincolo cerniera comporta $\delta_{x1} = \delta_{y1} = 0$ (traslazione impedita lungo X e lungo Y) e γ_1 ="incognito"; il vincolo iniziale "i" dell'asta 1 è "incastro".

Risoluzione a vincoli interni: il vincolo esterno diventa l'incastro perfetto per cui $\delta_{x1} = \delta_{y1} = \gamma_1 = 0$ (traslazioni lungo X e Y e rotazione attorno a Z impediti); il vincolo iniziale i dell'asta 1 è "cerniera".

Le due soluzioni portano a risultati identici.

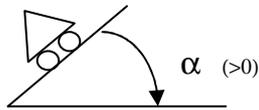
Nel caso di aste a mensola è necessario adottare la soluzione a vincoli esterni (nodo esterno con nessun movimento impedito e vincolo di estremità dell'asta "incastro").

Per quanto riguarda i vincoli esterni di tipo cedevole, si può considerare la cedevolezza del vincolo lungo l'asse globale X e/o lungo l'asse Y e/o lungo l'asse Z (telai 3D) e/o alle rotazioni, inserendo le rispettive rigidità alle traslazioni (forza capace di produrre uno spostamento unitario del vincolo cedevole) e alle rotazioni (momento capace di produrre una rotazione unitaria del vincolo cedevole).

Per i vincoli interni, i movimenti del nodo sono incogniti e nulla va quindi inserito.

Nel caso di **vincoli inclinati** (telai piani), tipo carrello scorrevole su un piano inclinato o bipendolo, occorre indicare l'angolo $\alpha(^{\circ})$, compreso tra -90° e $+90^{\circ}$, che il piano di scorrimento del carrello forma con l'asse globale X, positivo se orario, e indicare se il

movimento lungo la normale N al piano di scorrimento è nullo (vincolo fisso) o incognito (vincolo cedevole elasticamente, per il quale occorre inserire la relativa rigidezza):



Nella seguente tabella si riassumono le principali caratteristiche dei vincoli esterni nel caso di telai piani:

Tipo di vincolo	Movimenti impediti		
	traslazione X	traslazione Y	rotaz. Z
incastro	SI	SI	SI
cerniera	SI	SI	
bipendolo lungo X o incastro scorrevole	SI		SI
bipendolo lungo Y o incastro scorrevole		SI	SI
carrello lungo X		SI	
carrello lungo Y	SI		
quadripendolo			SI
carrello lungo direzione inclinata	È impedito lo spostamento lungo la normale N al piano di scorrimento		
bipendolo inclinato	È impedito lo spostamento lungo la direzione N dei bipendoli		SI

Inseriti i dati relativi ad un nodo occorre premere il pulsante **Salva dati NODO**.

8. FORME DI CARICO

Con questo pannello vengono definite le **Forme di carico** che vengono utilizzate nelle combinazioni di carico. Una forma di carico rappresenta in pratica uno o più carichi che vengono gestiti come un tutt'uno (come a disegnare una "forma" di carico): se una data forma di carico è presente in una combinazione di carico allora sono presenti tutti i carichi appartenenti alla medesima forma di carico.

Una combinazione di carico è la “somma” o “combinazione” di più forme di carico: le forme di carico inserite nella stessa combinazione agiscono simultaneamente, in genere con coefficienti di partecipazione diversi a seconda se si tratta di forma di carico permanente, variabile ecc.

Definite le forme di carico da parte dell'utente, le combinazioni di carico possono essere generate in automatico dal software (vedi oltre) e possono essere modificate.

Per definire una forma di carico occorre inserire il **Nome** e la **Tipologia** della forma di carico a scelta tra:

- **permanente** (G), ad es. peso proprio elementi strutturali G1, peso proprio elementi non strutturali G2, pre-sollecitazioni P, ... In questo caso occorre specificare se la forma di carico è a “favore di sicurezza” o “a sfavore di sicurezza”;
- **sovraccarico** (Q), azione variabile
- **vento** (Q)
- **neve** (Q)
- **temperatura** (Q)
- **sisma** (E)

Per le forme di carico variabili (Q) occorre inserire i coefficienti di combinazione “raro” Ψ_0 , “frequente” Ψ_1 e “quasi permanente” Ψ_2 ; premendo su “imposta” vengono inseriti i valori di cui alla Tab. 2.5.I delle NTC, fatto salvo che l'utente può inserire valori diversi:

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

9. Menù CARICHI

9.1 Carichi nodali

Quando sono presenti carichi applicati ai nodi, selezionare il nodo dalla cella in alto a destra e inserire le forze nodali specificando la forma di carico a cui appartengono e

con il segno che ne deriva dal sistema di riferimento globale assunto. Per i telai piani sono disattivati le componenti FZ, CX e CY (forza lungo l'asse Z e coppie con asse vettore X e Y).

Possono essere presenti sul nodo delle forze che appartengono a diverse forme di

carico: si pensi ad esempio a forze concentrate orizzontali che simulano l'azione sismica e carichi verticali di tipo permanente. In questi casi occorre inserire le forze concentrate distinguendole

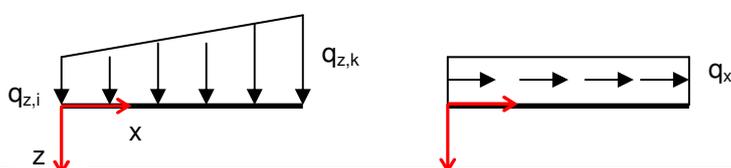
per forme di carico (pulsante **Aggiungi**).

9.2 Carichi distribuiti

Quando sono presenti carichi ripartiti lungo le aste, selezionare l'asta dalla cella in alto a destra e inserire le forze distribuite specificando la forma di carico a cui appartengono e con il segno che ne deriva

dal sistema di riferimento locale dell'asta. Per i telai piani sono disattivati le componenti $q_{y,i}$, $q_{y,k}$ e m_x .

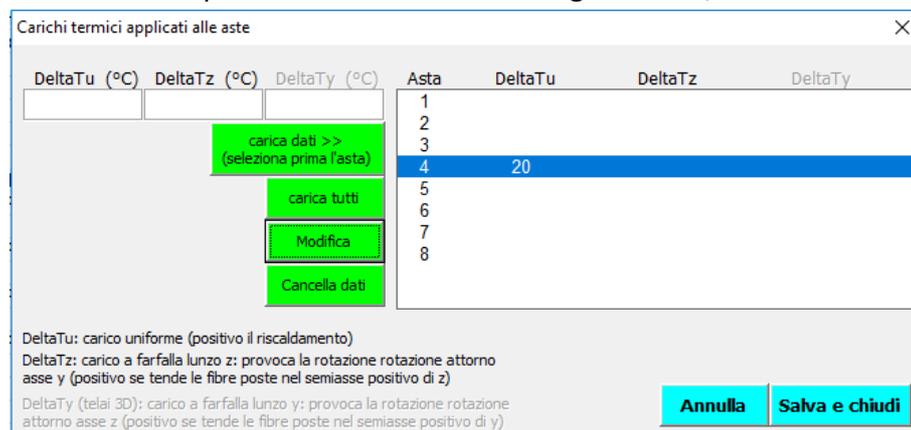
Il parametro q_x è il carico uniformemente ripartito longitudinale. I parametri $q_{z,i}$ e $q_{z,k}$ rappresentano i valori che il carico distribuito lungo z assume agli estremi i e k dell'asta. Ciò consente di gestire carichi di forma trapezia ($q_{z,i} \neq 0$, $q_{z,k} \neq 0$ e $q_{z,i} \neq q_{z,k}$), triangolari ($q_{z,i} = 0$ e $q_{z,k} \neq 0$ o $q_{z,k} = 0$ e $q_{z,i} \neq 0$) e uniformi ($q_{z,i} = q_{z,k}$). I segni di q_z e q_x seguono il sistema di riferimento locale assunto per l'asta.



Nel caso di telai spaziali, possono essere inseriti anche i carichi distribuiti diretti secondo l'asse y ($q_{y,i}$ e $q_{y,k}$) e le coppie torcenti uniformi m_x .

9.3 Carichi termici

Quando sono presenti carichi termici lungo le aste, selezionare l'asta dalla lista a

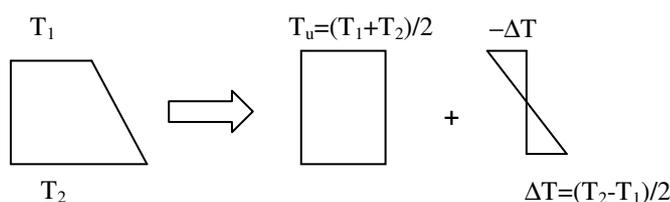


destra e inserire il carico termico uniforme e/o quello a farfalla lungo l'asse locale z (nel caso di telai spaziali può essere inserito

anche il carico a farfalla lungo l'asse locale y). Il segno va inserito tenendo conto che per il carico uniforme è positivo il riscaldamento e che per il carico a farfalla lungo z è positivo se tende ad allungare le fibre poste nel semiasse positivo di z (se tende ad accorciarle, con allungamento di quelle poste all'estremo opposto, occorre inserire il segno negativo).

Per considerare i carichi termici qui specificati è necessario che venga definita una forma di carico di tipo "temperatura" (v. esempio in appendice).

Si ricorda che un carico termico a trapezio è sempre scomponibile in un carico termico uniforme più un carico a farfalla:



10. COMB. CARICO

Da questo menù si definiscono le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE che il software andrà a calcolare.

10.1 Combinazioni di carico allo SLU

Le combinazioni di carico allo stato limite ultimo possono essere generate in automatico secondo le indicazioni della normativa di riferimento. L'utente potrà verificarle ed eventualmente modificarle, nonché integrarle nel numero o ridurle.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nel progetto degli elementi strutturali che non coinvolgono il terreno (c.d. sovrastruttura) le norme impongono di utilizzare i **coefficienti del gruppo A1**.

✓ $\Psi_{02}, \Psi_{03} \dots$ (minore o uguale a uno) sono i **coefficiente di combinazione** allo stato limite ultimo, già visti nel paragrafo delle forme di carico:

Ψ_0 valore raro

Ψ_1 valore frequente

Ψ_2 valore quasi permanente

I coefficienti di combinazione rappresentano la probabilità, più o meno elevata, che le azioni variabili indipendenti si presentino tutte contemporaneamente con il loro valore caratteristico (si assume quindi che l'azione di base si presenti con il valore caratteristico e che le altre azioni variabili assumano un valore inferiore determinato dal coefficiente di combinazione).

I moltiplicatori consentono dunque di amplificare o ridurre il carico rispetto ai valori caratteristici (essi quindi consentono di tenere conto dei coefficienti parziali delle azioni γ_G e γ_Q e dei prodotti $\gamma\Psi$ in cui Ψ sono i coefficienti di combinazione indicati nelle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2008 e del 2018).

Detto N_p il numero di forme di carico permanenti e N_v il numero di forme di carico variabili, vengono create dal software:

- la combinazione di carico in cui sono presenti solo i carichi permanenti

$$Comb_1 = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \dots$$

- N_v combinazioni in cui è presente a rotazione una sola forma di carico variabile

$$Comb_i = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki} \quad i=1,2, \dots, N_v$$

- N_v combinazioni in cui è presente una forma di carico variabile dominante e le altre forme di carico variabili secondarie (che partecipano con i coefficienti "rari" Ψ_0). Ognuna delle forme variabili viene impostata a turno come dominante:

$$Comb_i = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

$$i=1,2, \dots, N_v$$

In presenza di sisma vengono create altre combinazioni di carico sulla base della seguente formula simbolica:

$$F_d = E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

La **combinazione di carico "frequente"** è data dalla seguente formula simbolica:

$$F_d = G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove non è presente l'azione sismica E, i coefficienti parziali γ_F sulle azioni sono unitari, il carico variabile dominante è abbattuto dal coefficiente di combinazione "frequente" ψ_1 e gli altri carichi variabili secondari dai coefficienti "quasi permanenti" ψ_2 .

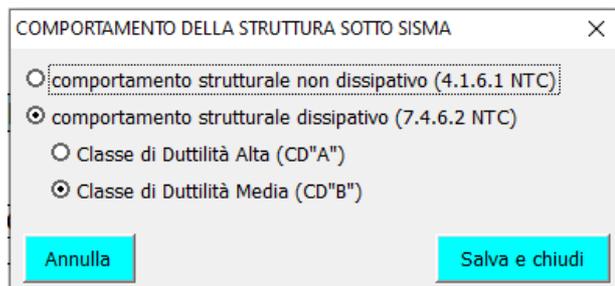
La **combinazione di carico "quasi permanente"** è data dalla seguente formula simbolica:

$$F_d = G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove non è presente l'azione sismica E, i coefficienti parziali γ_F sulle azioni sono unitari, i carichi variabili sono tutti abbattuti dal coefficiente di combinazione "quasi permanente" ψ_2 .

11. Menù VERIFICHE

11.1 Comportamento strutturale sotto sisma



Quando, in presenza di azione sismica, si richiede al programma (DATI GENERALI) di effettuare le verifiche di resistenza con le NTC 2008 o NTC 2018, occorre precisare qual è il comportamento che si vuole assumere per la struttura. La scelta ha effetto sul calcolo dell'intensità

dell'azione sismica, sul calcolo delle armature longitudinali e trasversali delle aste in C.A., sui dettagli costruttivi e sui criteri di verifica.

Nel caso si sceglie il comportamento dissipativo occorre precisare la classe di duttilità adottata.

11.2 Calcolo/verifiche armature

Permette di inserire gli ulteriori parametri necessari per il calcolo o la verifica (quando inserita dall'utente o modificata a seguito di un calcolo di progetto) delle armature e per le verifiche di resistenza delle aste in C.A.:

- diametro dei tondini (minimo 12 mm)
- distanza tra il lembo della sezione e il perimetro del tondino in ferro (**copriferro**, minimo 3 cm – v. Circolare NTC);

- la distanza minima tra i perimetri di due barre successive (**interferro**), da stabilire in relazione alla dimensione media degli inerti che costituiscono il cls (si suggerisce di non scendere sotto i 2-3 cm)
- l'interasse massimo tra le barre di armatura (ad es. nel caso di costruzione soggetta ad azione sismica con calcolo con le NTC l'interasse massimo è pari a 25 cm)
- il rapporto armature $\mu = A'_f/A_f$, compreso tra 0 e 1 (armatura in zona compressa su armatura in zona tesa)⁷;

PROGETTO/VERIFICA ARMATURE LONGITUDINALI E TRASVERSALI

Calcolo di

progetto verifica Inserisci/modifica armatura aste in C.A.

Armatura longitudinale

16 diametro ferri (mm)

3 copriferro cf (cm)

3 interferro: distanza minima tra le barre longitudinali (cm)

30 distanza massima tra gli assi delle barre longitudinali (cm)

0,5 rapporto A'f/Af (armatura zona compressa/armatura zona tesa, valore tra 0 e 1)

Armatura trasversale (staffe e/o ferri piegati)

armatura a taglio

90 angolo (°) di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'asta

8 diametro staffe verticali (mm)

2 n° braccia staffe in direzione z n° braccia staffe in direzione y

45 angolo (°) di inclinazione dei ferri piegati rispetto all'asse dell'asta

armatura a torsione

90 angolo (°) di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'asta

8 diametro armatura trasversale (mm)

Annulla Salva e chiudi

Nel **calcolo di progetto** dell'armatura longitudinale a flessione il software adotta i seguenti criteri:

- tondini (minimo 4) aventi lo stesso diametro d_f in tutta la sezione
- un tondino in ogni spigolo della sezione
- tondini disposti lungo una polilinea che segue il perimetro della sezione, distanziata da quest'ultimo della quantità $c_f + d_f/2$, con c_f copriferro
 - rispetto dei valori di interferro e di interasse massimo tra le barre fissati dall'utente
 - rispetto dei valori minimi e massimi di quantitativi di armatura previsti dalla normativa
 - per i pilastri i tondini sono disposti in modo (quasi) uniforme lungo il contorno della sezione

⁷ Le NTC (paragr. 7.4.6.2.1) impongono che in zona sismica si abbia μ almeno pari a 0,25 (meglio 0,5).

- per le travi i tondini sono disposti in relazione ai momenti flettenti agenti ed ai loro segni, prevalentemente in zona tesa.

ARMATURA LONGITUDINALE E TRASVERSALE ASTE IN C.A.

ASTA: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

n° di tondini armatura longitudinale nei vari pacchetti (p.) delle sezioni di ogni asta

	p. 1	p. 2	p. 3	p. 4	p. 5	p. 6	p. 7	p. 8	p. 9	p. 10	p. 11	p. 12
Nb												
x (cm)												
0	2	2	1	1								
52,5	2	2	1	1								
105	2	2	1	1								
157,5	2	2	1	1								
210	2	2	1	1								
262,5	2	2	1	1								
315	2	2	1	1								
367,5	2	2	1	1								
420	2	2	1	1								

Db (mm) > 16 16 16 16

armatura trasversale a taglio - lunghezze tratti iniziale, centrale e finale e passo staffe

Li (cm) 0 pi (cm) 12
Lc (cm) 420 pc (cm) 22
Lk (cm) 0 pk (cm) 13

armatura trasversale a torsione - barre long. e passo staffe

Al (cmq)
p_to (cm)

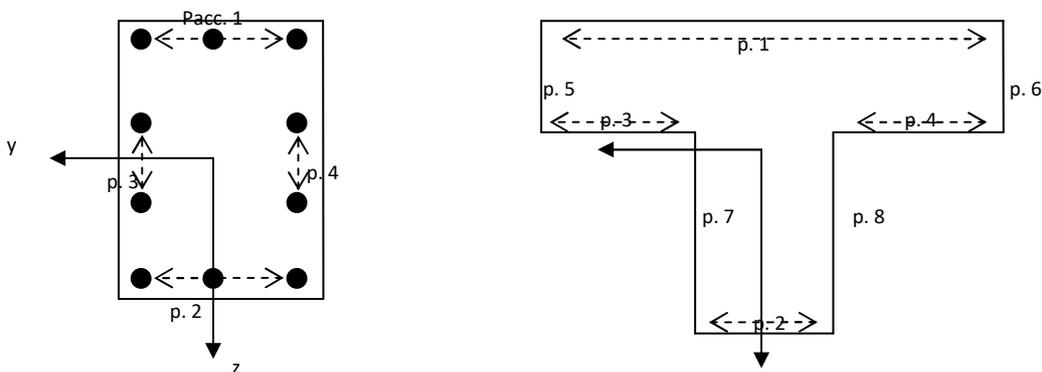
Lunghezza asta, L=420 cm

Chiedi Annulla Salva dati

Il calcolo di verifica dell'armatura si impiega quando l'utente inserisce o modifica l'armatura longitudinale e/o trasversale precedentemente calcolata (ad esempio se qualche verifica non risulta soddisfatta l'utente può aumentare l'armatura).

Si seleziona l'asta nella lista in alto a sinistra e si inseriscono o modificano il numero di tondini in ogni pacchetto "p" delle nove sezioni (x varia da 0 alla

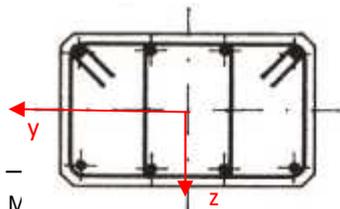
lunghezza L dell'asta) dell'asta. I tasti "T" e ">" permettono di inserire lo stesso numero in tutte le celle, velocizzando l'input. Nelle sezioni rettangolari i pacchetti 1 e 2 sono rispettivamente quello superiore e quello inferiore, mentre i pacchetti 3 e 4 sono quelli laterali:



Analogamente per le altre forme di sezione. La sezione a T ha fino a 8 pacchetti di armatura e la sezione a doppio T fino a 12.

La somma $L_i + L_c + L_k$, con L_i e L_k lunghezze dei tratti di asta iniziale e finale in cui disporre specifica armatura a taglio con passo p_i e p_k , deve dare la lunghezza complessiva L dell'asta.

L'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale a taglio rispetto all'asse della trave deve essere maggiore di 0° e minore o uguale a 90° . Per le staffe, ortogonali all'asse della trave, si indicherà 90° .



Il numero di braccia delle staffe può essere differente nelle due direzioni y e z principali della sezione. Nel caso

rappresentato accanto, occorre inserire il valore 4 per la direzione z e il valore 2 per la direzione y.

I dati sull'armatura a torsione sono richiesti solo per i telai spaziali.

L'armatura longitudinale a torsione è quella destinata alla sola sollecitazione di torsione (aree dei tondini resistenti a torsione nel modello a traliccio contenuto dentro il tubo cavo).

Anche qui, l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale a torsione rispetto all'asse della trave deve essere maggiore di 0° e minore o uguale a 90°. Per le staffe, ortogonali all'asse della trave, si indicherà 90°.

11.3 Verifiche SLE strutture in c.a.

Quando si procede con le NTC 2008 o 2018 e si sceglie di eseguire le verifiche agli SLE in aste in c.a., occorre inserire alcuni dati per le verifiche agli stati limite di esercizio di fessurazione, alle tensioni di esercizio e alle deformazione.

Maggiori indicazioni inerenti i metodi di calcolo sono riportate nella Relazione di calcolo che corredata il software.

Il bottone “valori NTC” consente di impostare le percentuali come da indicazioni delle NTC.

12. IMPOSTAZIONI

Nel calcolo delle travi di fondazione si può tenere conto della presenza dell'eventuale sottotrave.

Per i telai spaziali occorre specificare se la torsione è secondaria (quasi sempre) ai fini delle verifiche agli SLU. Nella pratica della progettazione spesso questa sollecitazione viene ignorata: infatti anche nei modelli di telai spaziali di solito vengono considerati solo carichi che producono sollecitazioni di taglio e flessione. L'esperienza ha dimostrato che la semplificazione del trascurare le sollecitazioni torsionali di solito non produce effetti indesiderati. Per chiarire questa apparente contraddizione è utile introdurre la distinzione tra una torsione “primaria” ed una “secondaria”. La prima è quella prodotta da carichi che, per essere equilibrati, richiedono la presenza di una reazione torsionale nella trave, cioè per i quali la possibilità di soddisfare l'equilibrio è

condizionata dalla capacità della trave di resistere all'azione torcente. Un esempio di "torsione primaria" è quella che nasce nelle travi a ginocchio, usate nella realizzazione delle scale, che sostengono i gradini come mensole sporgenti trasversalmente dalla trave. L'equilibrio dei gradini è possibile solo se la trave è in grado di resistere al momento torcente che equilibria i momenti di incastro delle mensole. La torsione "secondaria" è invece quella che si sviluppa per effetto dei vincoli di continuità di un sistema iperstatico; annullando la rigidità torsionale delle travi i momenti torcenti scompaiono ma l'equilibrio della struttura è ancora possibile.

Quest'ultimo tipo di azione è quella che si incontra più di frequente e di fatto è presente in quasi tutte le travi delle strutture in cemento armato, in quanto normalmente queste non sono costituite da elementi isolati ma, al contrario, formano sistemi spaziali continui in cui si sviluppano, tra le altre, anche delle azioni torcenti. Ad esempio le sezioni delle travi che sostengono i solai con cui sono solidali devono subire rotazioni torcenti uguali alle rotazioni flessionali delle estremità dei travetti: a queste rotazioni corrispondono proporzionali sollecitazioni. Ovviamente solo la torsione secondaria può essere trascurata senza che questo costituisca un pericolo per la struttura.

IMPOSTAZIONI DI CALCOLO E GRAFICHE

Trave di fondazione

E' presente sottotrave con larghezza maggiore della larghezza della fondazione

sporgenza sottotrave da ciascun lato (cm)

Telaio spaziale

la torsione è secondaria

Impostazioni di calcolo

default

1 altezza (cm) straterello nel calcolo sezioni allo SLU alle tens. normali

1 n° combinaz. di carico da considerare nel calc. prog. armat. longit.

1 passo sezioni calcolo di progetto armat. longit.

2 passo sezioni calcolo di verifica armat. longit.

Settaggi grafici

Scala disegno telaio 1:

Scala disegno esecutivi C.A. 1:

Scala carichi distribuiti 1 cm = kg/m

Scala taglio e sforzo normale 1 cm = kg

Scala momenti 1 cm = kg*m

Coeff. parziali per le azioni (A)

imposta valori NTC Effetto A1

carichi permanenti favorevole

sfavorevole

carichi variabile favorevole

sfavorevole

I coefficienti parziali sulle azioni previsti dalle NTC 2008/2018 possono essere modificati per specifiche esigenze dell'utente, ad esempio quando si calcolano le travi di fondazione con i carichi, provenienti dalla sovrastruttura, già amplificati (in questo caso occorre assumere unitari tali coefficienti).

Le "impostazioni di calcolo" attengono a parametri che incidono sui tempi di calcolo delle armature longitudinali. Se il tempo di calcolo non è eccessivo è opportuno considerare tutte le combinazioni di carico nel calcolo delle armature. Il tasto "default" permette di inserire i valori suggeriti.

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 36 di 98
---	----------------------	---------------

I settaggi grafici si riferiscono alle scale per i disegni e per i diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione.

13. CALCOLO

Finita la fase di input è possibile avviare il calcolo premendo il relativo pulsante.

Il calcolo, che viene concluso nel giro di pochi secondi (tranne strutture complesse), si può ripetere tutte le volte che si vuole, ad es. variando singoli parametri di input. Una volta impostato il modello di calcolo, esso può essere agevolmente modificato per potere eseguire varie analisi es. variando i carichi esterni o secondo diverse ipotesi di vincolo ecc.

Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità geometrica dei dati introdotti segnalando eventuali errori che comportano l'interruzione del calcolo. Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche che non permettano l'elaborazione; non segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali né altri tipi di errori.

Nell'analisi strutturale si fa l'ipotesi di aste di Eulero-Bernoulli (travi snelle) in cui si trascura l'effetto del taglio sulle deformazioni (la sezione trasversale dell'asta a deformazione avvenuta si mantiene ortogonale all'asse della trave: ciò significa assumere lo scorrimento pari a zero).

13.1 Risoluzione di travi singole

Il software permette pure la risoluzione di singole travi.

Per la sola trave singola incastrata agli estremi occorre utilizzare l'artificio di scomporre la trave in due parti e fare l'input dei dati che ne deriva.

14. OUTPUT

L'applicativo fornisce i seguenti risultati:

- a) **dati geometrici aste:** lunghezze, aree sezioni trasversali, momenti d'inerzia rispetto all'asse locale x (torsionale) e rispetto agli assi locali y e z (assi principali d'inerzia della sezione)
- b) **combinazioni di carico allo SLU e allo SLE**
- c) **carichi uniformemente distribuiti** lungo gli assi locali x, y, z **dovuti al peso proprio** (quando si richiede al programma di calcolare automaticamente il carico dovuto al peso proprio)
- d) **spostamenti assoluti dei nodi**
- e) **caratteristiche di sollecitazione di estremità** delle aste

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 37 di 98
---	----------------------	---------------

- f) **reazioni vincolari**
- g) caratteristiche di sollecitazione in un numero fissato di sezioni delle varie aste (oltre le sezioni di estremità si considerano altre 7 sezioni intermedie), con i segni in accordo alla convenzione della Scienza delle Costruzioni (v. paragrafo 3.3)
- h) **verifiche delle condizioni di equilibrio**: soddisfacimento delle equazioni di equilibrio alla traslazione e alla rotazione lungo i tre assi;
- i) per le aste in C.A.: **armature longitudinali e trasversali, verifiche di resistenza** (alle tensioni ammissibili o agli stati limite)
- j) per le aste in acciaio: **verifiche di resistenza** (alle tensioni ammissibili o agli stati limite)
- k) **verifiche di stabilità** di ogni asta, sia in C.A. (carico di punta per i pilastri) che in acciaio (carico di punta e svergolamento)
- l) **verifiche agli SLE**: per le aste in c.a., verifiche alle tensioni di esercizio, di fessurazione, di deformazione; per le aste in acciaio, verifica alle deformazioni;
- m) **disegno del telaio** (con numerazione relativa dei nodi e delle aste)
- n) disegno del **telaio con i carichi applicati** (concentrati e ripartiti)
- o) **diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione N, T, M relativi all'intera struttura**
- p) **diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione relativi alla singola asta**
- q) **deformata della struttura** (telai piani)
- r) **esecutivi** delle aste in C.A.⁸.

I risultati di cui alle superiori lettere (c, d, e, f, g, h, i, j, k, l) sono ottenuti per ogni combinazione di carico calcolata.

L'esito negativo delle verifiche di sicurezza e/o di stabilità viene messo in risalto con carattere grassetto e colore rosso. Pertanto se nel tabulato di calcolo non risultano scritte di colore rosso significa che tutte le verifiche sono soddisfatte.

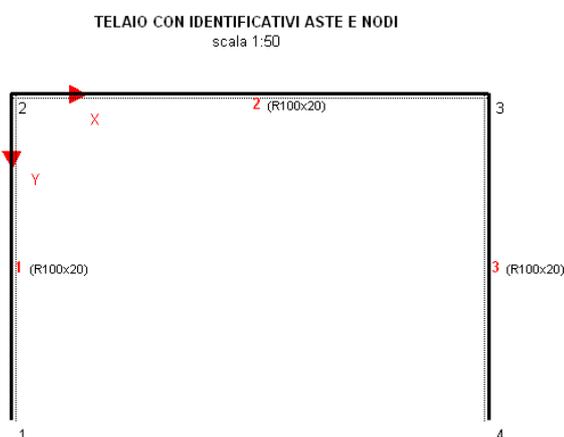
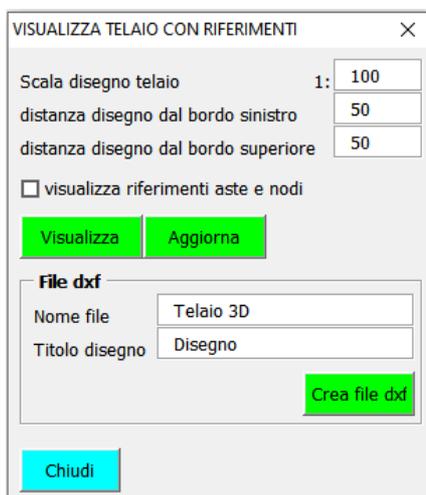
14.1 Menù VISUALIZZA

Permette la visualizzazione, a calcolo eseguito:

1. dei risultati numerici (**Tabulato di calcolo**);

⁸ Si tratta di esecutivi, disegnati alla scala voluta e riferite alle singole aste, che potranno essere utilizzati per disegnare (tramite software CAD) quelli definitivi da consegnare ai carpentieri (in quest'ultimi si terrà conto degli spessori dei pilastri e delle aste, dei prolungamenti dei ferri tra campate adiacenti ecc).

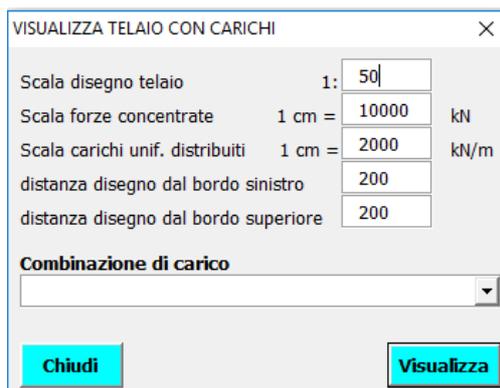
- del telaio con l'indicazione del sistema di riferimento globale XY, dei vincoli, dei numeri assegnati alle aste (numeri in rosso) e ai nodi, della parte inferiore di ogni asta (linea tratteggiata), che definisce il sistema di riferimento locale di ogni asta, e dell'indicazione, tra parentesi, del nome della sezione di ciascuna asta.



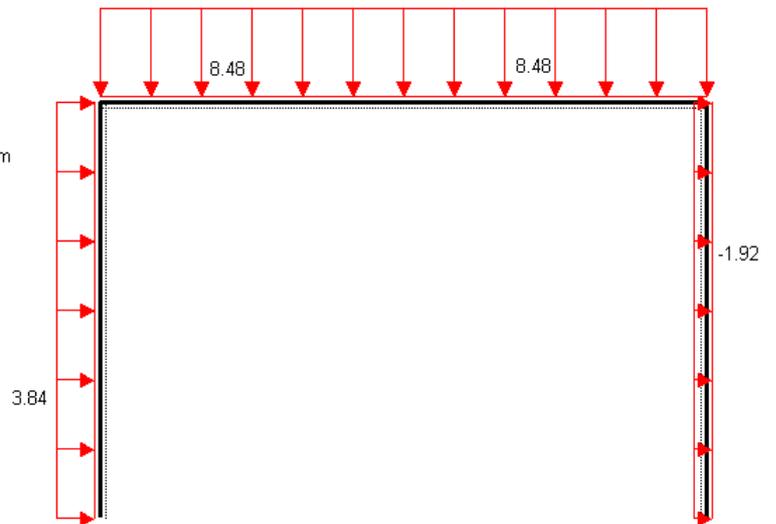
Nel caso di telaio spaziale vengono disegnate la pianta (piano XY), il prospetto (piano XZ) e il fianco (piano YZ). E' possibile pure generare il file dxf del telaio che potrà essere aperto da un qualunque programma CAD.

- del telaio (piano) con l'indicazione dei carichi concentrati e distribuiti per fissata combinazione di carico.

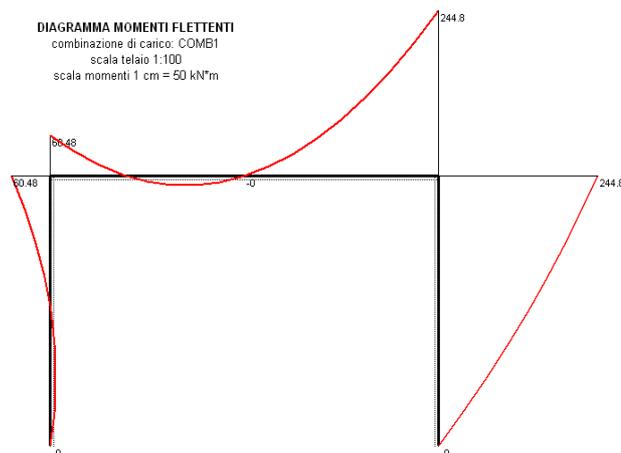
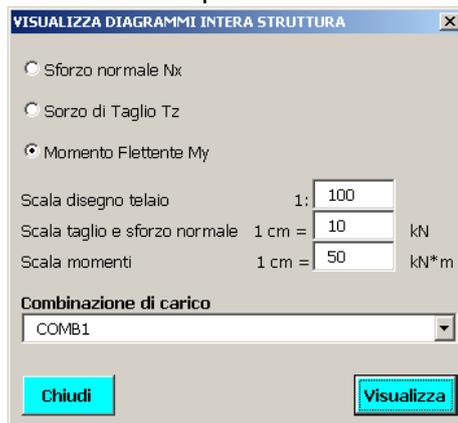
Le distanze del disegno dai bordi, espresse in punti, aiutano l'utente ad apportare gli opportuni correttivi per far posizionare al meglio il disegno nel foglio.

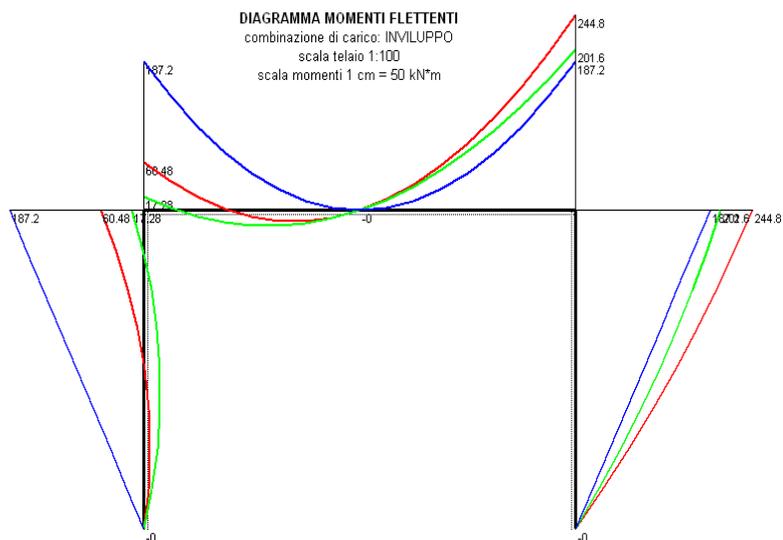


TELAIO CON CARICHI APPLICATI
combinazione di carico: COMB1
scala telaio 1:100
scala forze 1 cm = 10 kN
scala carichi unif. distribuiti 1 cm = 5 kN/m



4. del telaio (piano) con il diagramma dello sforzo normale, dello sforzo di taglio e dei momenti flettenti per fissata combinazione di carico.

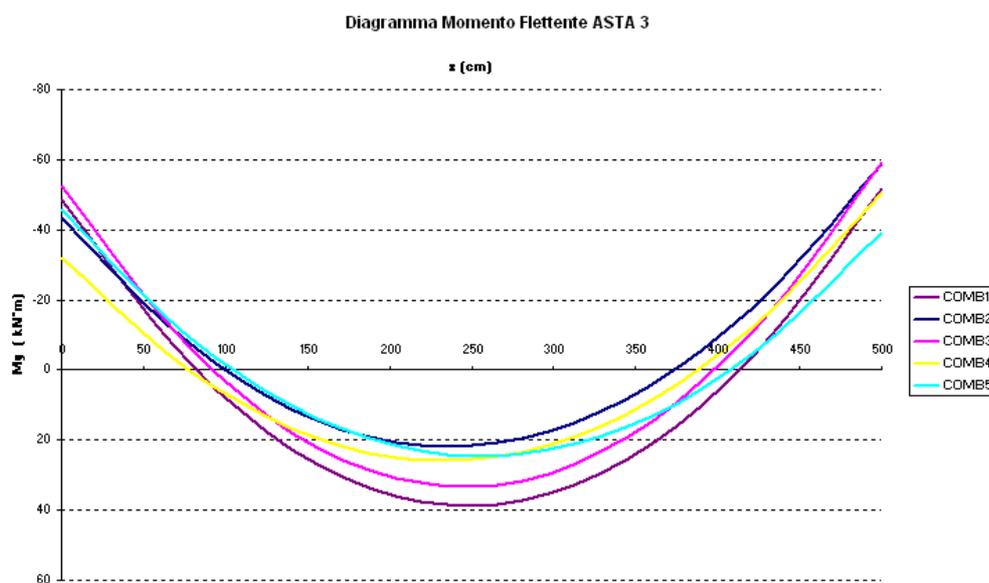




Se i disegni o diagrammi si presentano poco leggibili si possono variare opportunamente le scale di rappresentazione e le distanze dai bordi sinistro e superiore.

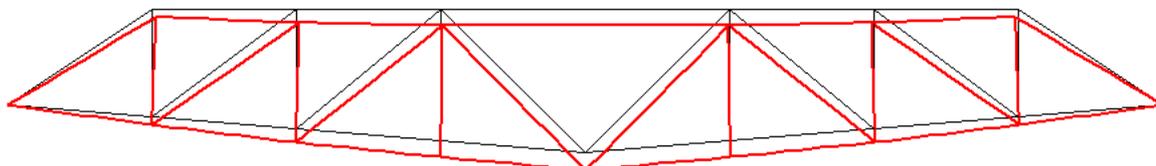
I numeri che rappresentano i carichi o le caratteristiche di sollecitazione di estremità delle aste e il titolo del disegno possono essere spostati manualmente dall'utente al fine di rendere, qualora ce ne fosse bisogno, più leggibile il disegno.

- dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione per fissata asta e per tutte le combinazioni di carico (diagrammi inviluppo):



- della deformata della struttura (piana) per fissata combinazione di carico:

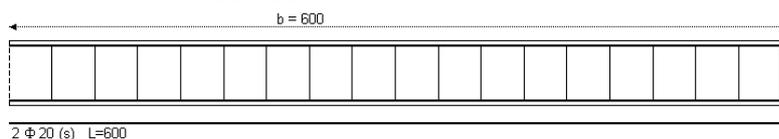
DEFORMATA DEL TELAIO
combinazione di carico: COMB1
scala telaio 1:100
fattore di ingrandimento = 3



Tutti i grafici e disegni possono essere **stampati** dal menù FILE eventualmente impostando prima l'area di stampa.

- degli esecutivi (sezioni longitudinali e trasversali) delle aste in C.A. (la lettera "s" indica la parte superiore dell'asta, "i" quella inferiore). Gli esecutivi possono essere generati anche in file dxf.

ASTA 1 (L = 600 cm) - scala 1:30
staffe tratto b: Φ 10/33



Nel caso di calcolo di trave di fondazione è possibile visualizzare gli spostamenti e la reazione del terreno di fondazione.

15. LICENZA D'USO E RESTRIZIONI

L'autore conferisce licenza d'uso dell'applicativo, ma rimane titolare sia dello stesso che della relativa documentazione. L'uso è consentito **su un singolo computer** e, pertanto, non potrà essere utilizzato in rete, venduto, dato in locazione o in comodato ad un altro utente, né essere decodificato o decompilato, adattato o modificato, senza previo consenso scritto dell'autore.

L'utente non potrà rimuovere o alterare il nome dell'applicativo o altre indicazioni di riserva di diritti apposti o inseriti nel programma. Non è consentito l'inserimento in pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore.

L'autore si riserva il diritto di apportare modifiche al software e alla documentazione senza preavviso.

Telai.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 42 di 98
---	----------------------	---------------

Per potere utilizzare l'applicativo è indispensabile che l'utente disponga ed abbia già installato sul proprio computer il programma Excel® della Microsoft, non fornito dall'autore e senza il quale questo software non può essere utilizzato.

Il software non attivato, funzionante per un certo periodo di tempo e per alcune volte, non può essere utilizzato per scopi professionali (i tabulati di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

L'autore garantisce che l'applicativo funziona in conformità con il presente manuale d'uso e che esso non contiene virus.

L'uso dell'applicativo è subordinato alla conoscenza dei problemi ingegneristici di che tratta (si presume che l'uso dell'applicativo avvenga da parte di persone qualificate). È stato curato in gran parte il controllo dei dati inseriti.

La verifica dell'idoneità, l'uso e la gestione dell'applicativo sono responsabilità esclusiva dell'utente. L'autore non garantisce che le funzioni contenute nell'applicativo siano idonee a soddisfare le esigenze dell'utente né garantisce che i difetti riscontrati nell'applicativo vengano corretti. Non garantisce altresì circa i danni od i benefici ottenuti dalla utilizzazione del software.

L'autore è espressamente sollevato da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto od indiretto, di ogni genere e specie derivante dall'uso del software, compreso, tra l'altro, quello improprio, erroneo o fraudolento. L'intero rischio circa la qualità e le prestazioni dell'applicativo è a carico dell'utente ed i risultati devono essere verificati personalmente.

In nessun caso il limite di responsabilità a carico dell'autore potrà superare l'importo per l'acquisto dell'applicativo.

Per tutto quanto sopra non indicato, il presente contratto è regolato dalle leggi sul copyright, sul diritto d'autore e dalle altre leggi nazionali applicabili. Per qualsiasi controversia fra le parti sarà competente in via esclusiva il Foro di Palermo.

APPENDICE 1 - Novità versioni software Telai.Az

Versione 5.0 (dicembre 2009)

- **calcolo automatico del peso proprio** della struttura
- **sezioni e materiali** definiti con menù a parte, con possibilità di gestire la sezione generica e il materiale generico
- calcolo delle varie **combinazioni di carico** definite in base alla normativa di riferimento
- miglioramenti nelle restituzioni grafiche degli output (disegno telaio con carichi applicati, sia distribuiti che concentrati; diagrammi caratteristiche sollecitazioni ecc.)
- disegno della **deformata della struttura** per ogni combinazione di carico

Versione 6.0 (maggio 2010)

- per le aste in C.A., **calcolo delle armature** (longitudinale e trasversale), **verifiche di resistenza** (alle tensioni ammissibili o agli stati limite) e **verifiche al carico di punta**
- **disegno degli esecutivi** in C.A.

Versione 7.0 (maggio 2012)

- **verifiche di resistenza** per aste in acciaio
- **verifiche di stabilità** (carico di punta e svergolamento) per le aste in acciaio
- risoluzione della **trave di fondazione elastica su suolo elastico** alla Winkler
- sezioni a T, a T rovescia e scatolare
- **Relazione esplicativa** contenente le teorie ed i metodi implementati nel software e che all'occorrenza può essere allegata al tabulato di calcolo

Versione 8.0 (marzo 2019)

- estensione al **calcolo dei telai spaziali** (verifiche di resistenza e di stabilità per telai spaziali, tondini posizionati anche nei lembi laterali delle sezioni, limitazioni nella distanza tra le barre)
- possibilità di inserire **coppie uniformemente distribuite** lungo le aste
- implementazione del **carico termico**
- **cedimenti vincolari**
- **aggiornamento alle NTC 2018**
- limiti di armatura da comportamento strutturale dissipativo o non dissipativo
- verifiche alle tensioni ammissibili anche per le altre forme di sezione (a T, a T rovescia, scatolare, a doppio T, circolare piena o cava)
- modifiche all'**interfaccia utente** e miglioramento disegni
- **Relazione di calcolo** contenente anche le teorie ed i metodi implementati nel software

Versione 9.0 (giugno 2022)

- input coordinate nodi e dati aste anche tramite tabella
- **vincoli inclinati** (telai piani)
- vincolo interno **bipendolo** e **doppio bipendolo**

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 44 di 98
---	----------------------	---------------

- **carico trapezio sulle aste** (casi particolari sono il carico uniforme e il carico triangolare)
- **generazione automatica delle combinazioni di carico** allo SLU e allo SLE
- **modifica armatura di calcolo** longitudinale e trasversale (calcolo di verifica alle tensioni normali, a taglio e a torsione)
- **verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)** delle strutture in c.a. e in acciaio
- **torsione secondaria**
- **disegni esecutivi sezioni trasversali aste in c.a.** (iniziale, centrale e finale)
- **disegni esecutivi in dxf**
- **disegno telaio 3D in file dxf**
- **computo metrico materiali**
- **nuova formattazione tabulato di calcolo**

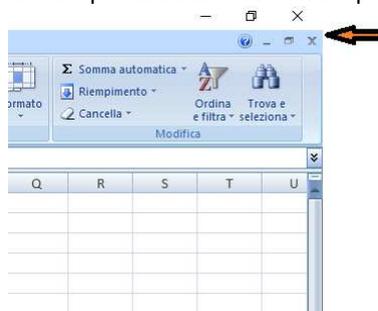
APPENDICE 2 – GESTIONE ERRORI E REQUISITI DI SISTEMA

Tipo di errore	Soluzione
Errore di run-time 13 oppure non vengono calcolati i coefficienti sismici oppure altri parametri danno risultati sballati	<p>È necessario verificare che venga usato, da sistema operativo, come separatore decimale la virgola e come separatore di migliaia il punto. Se l'utente utilizza l'impostazione inversa, infatti, alcuni parametri non vengono calcolati. Per verificare i separatori andare in Opzioni Internazionali e della lingua del Pannello di controllo di Windows.</p> <p>Se il problema persiste, aprire Excel (nelle versioni precedenti alla 2007 cercare il menù Opzioni), fare clic sul pulsante</p> <p style="text-align: center;"> (in alto a sinistra), quindi su Opzioni di Excel. In Opzioni di modifica nella categoria Impostazioni avanzate selezionare la casella di controllo Utilizza separatori di sistema.</p>
Non si apre la Relazione di calcolo dal menù Visualizza	<p>Controllare che il modello (file .doc) della relazione di calcolo sia presente nella stessa cartella che contiene il software e che abbia il nome di "Relazione di calcolo Telai.Az".</p> <p>Se il problema persiste, esso può dipendere dalla versione e dai componenti installati del pacchetto Office di Microsoft nel pc dell'utente.</p> <p>In ogni caso la Relazione di calcolo che si genera premendo nel relativo link del software è la stessa di quella in formato .doc che viene inviata all'utente al momento dell'acquisto. Pertanto, anche se non si apre dal link del software <i>Telai.Az</i>, si può lo stesso utilizzarla accedendo direttamente al file .doc.</p>
Errore di run-time 1004	<p>Questo tipo di errore si può verificare alla prima installazione. In genere basta chiudere e riaprire il file.</p> <p>Controllare anche se gli identificativi delle colonne dei fogli di Excel sono rappresentati da numeri. Se è così, occorre ripristinare la configurazione di default in cui le colonne sono identificate con le lettere A, B, C, (File>Opzioni>Formule> togliere la spunta in <i>Stile di riferimento R1C1</i>)</p>

Alla chiusura del software viene richiesta una password di Visual Basic

La password non va inserita e si deve cliccare sul bottone chiudi per diverse volte consecutive.

Per evitare la richiesta di password si provi a chiudere prima il file e poi Excel (con riferimento alle due X in alto a destra, cliccare prima sulla X inferiore e poi su quella superiore):



Requisiti di sistema

Microsoft Excel® 2019, 2016, 2013, 2010, 2007, 2003, 2000, 1997 o Office 365 con Excel, o versioni successive.

Microsoft Windows® 10, 8.1, 8, Windows 7, Vista, XP SP3, Server 2008, Server 2003, o versioni successive. Su sistema operativo **Apple macOS** è necessaria una virtual machine (per esempio *BootCamp* o *Desktop Parallels*) che consenta di eseguire Windows e Microsoft Excel

256 MB RAM (Raccomandati: 512 MB RAM o più)

Hard Disk: almeno 100 MB di spazio libero.

APPENDICE 3 - Sulle combinazioni di carico

Passo fondamentale per il progetto di un'opera civile è l'**analisi delle forze (carichi)** agenti su di essa e lo studio delle loro combinazioni al fine di ottenere le massime sollecitazioni per le verifiche delle sezioni resistenti.

I carichi si devono considerare secondo combinazioni tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della ridotta probabilità di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli.

Con il metodo agli Stati Limite le azioni vengono combinate mediante opportuni coefficienti (**coefficienti parziali delle azioni**) che tengono conto della durata prevista per ciascuna azione, della frequenza del suo verificarsi e della presenza contemporanea di più azioni.

Le formule simboliche di combinazioni sono date dalla normativa e sono state indicate al capitolo 3.10.

In base alle NTC i coefficienti parziali sulle azioni valgono (Gruppo A1):

- per i carichi permanenti $\gamma_G = 1,3$ (**1,0** se il suo contributo aumenta la sicurezza);

- per i carichi accidentali $\gamma_Q = 1,5$ (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza).

Per la generica struttura, quando non è possibile stabilire a priori se il carico permanente aumenta o meno la sicurezza è necessario analizzare le combinazioni che derivano dall'assumere sia $\gamma_G = 1,3$ che $\gamma_G = 1,0$. Così vale anche per i carichi accidentali la cui presenza in alcuni casi aumenta la sicurezza: basti pensare alle travi continue in cui per ottenere i massimi valori dei momenti flettenti in mezzera occorre disporre il carico accidentale a scacchiera, cioè non si deve considerare il carico accidentale ($\gamma_Q = 0$) in alcune campate.

La definizione delle combinazioni di carico che consentono di ottenere le sollecitazioni più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche è **compito del progettista**. Telai.Az 9.0 dispone di un generatore di combinazioni di carico ma occorre tenere conto che a rigore, anche per strutture non complesse, occorrerebbe analizzare centinaia di migliaia di combinazioni⁹. Per tale motivo occorre valutare con attenzione le combinazioni generate dal software al fine di eliminare quelle superflue ed inserire quelle ritenute necessarie. Secondo la personale esperienza del progettista occorre sostituire **tutte le possibili combinazioni** di carico con **le più gravose combinazioni** di carico, facilmente individuabili nelle situazioni pratiche. Il progettista deve considerare quelle, spesso poche, combinazioni di carico che ritiene meritevoli di attenzione.

In presenza di più azioni variabili occorre considerare i **coefficienti ψ di combinazione** forniti dalla normativa. Questi coefficienti rappresentano la scarsa probabilità che le azioni variabili si presentino tutte contemporaneamente con il loro valore caratteristico (assumendo che l'azione variabile di base si presenti con il valore caratteristico, per le altre azioni variabili sarà assunto un valore inferiore: infatti i coefficienti ψ sono minori di 1). Ad esempio su un tetto è improbabile che la massima pressione del vento si verifichi contemporaneamente alla massima nevicata.

La corretta definizione delle combinazioni di carico da analizzare è assai importante. Non sempre il carico risulta più pericoloso per la struttura quando è applicato su ogni suo elemento. Ad esempio si può considerare una trave continua a quattro campate. Il massimo momento nelle campate 1 e 3 lo si ottiene con uno schema a scacchiera come quello illustrato in fig. 1, mentre il massimo momento flettente nelle campate 2 e 4 si ottiene prevedendo la combinazione di carico illustrata in fig. 2.

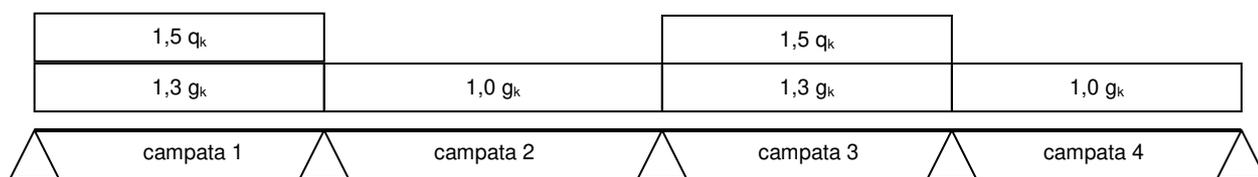


Fig. 1 – Schema a scacchiera che massimizza il momento flettente nelle campate 1 e 3

⁹ Per avere idea del numero di combinazioni in un telaio composto da appena 10 aste soggetto a carichi permanenti ed accidentali si consideri che il sovraccarico accidentale deve essere considerato assente del tutto, agente su singole aste, agente su aste prese a 2 a 2, a 3 a 3, ecc, ripetendo poi le combinazioni con $\gamma_G = 1,0$. Per non parlare poi se ci sono altri tipi di carichi variabili con la conseguente presenza dei coefficienti ψ di combinazione (per determinare tutte le combinazioni occorre di volta in volta cambiare l'azione variabile di base e quelle di accompagnamento).

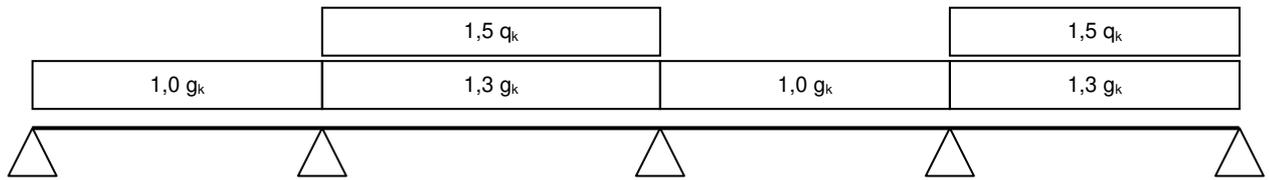


Fig. 2 – Schema a scacchiera che massimizza il momento flettente nelle campate 2 e 4

Per ottenere il massimo momento flettente agli appoggi occorre considerare le seguenti altre combinazioni di carico:

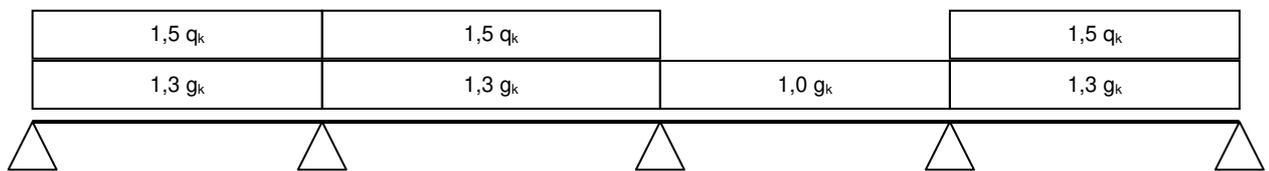


Fig. 3 – Schema a scacchiera che massimizza il momento al nodo 2

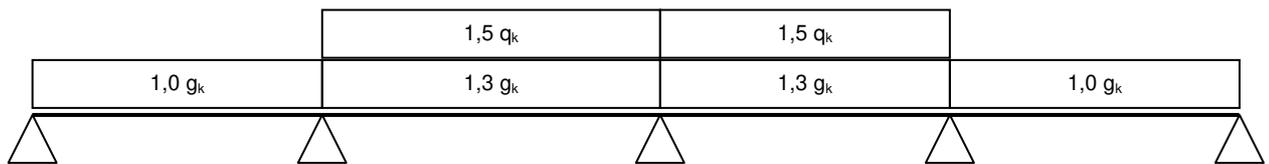


Fig. 4 – Schema a scacchiera che massimizza il momento al nodo 3

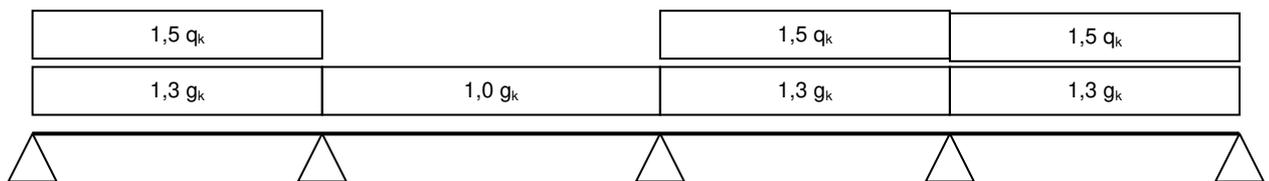
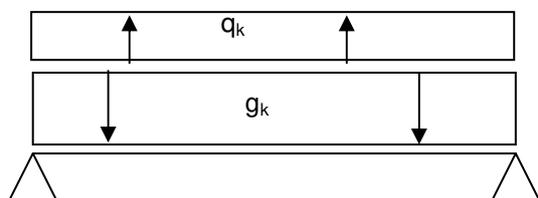


Fig. 5 – Schema a scacchiera che massimizza il momento al nodo 4

Per gestire il caso della trave continua di cui sopra occorre definire quattro forme di carico permanenti e quattro forme di carico variabili, relativi alle quattro campate. Le cinque combinazioni di carico potranno essere “costruite manualmente” dall’utente, inserendo direttamente sul foglio i moltiplicatori sopra indicati. Infatti in questo caso il generatore automatico di combinazioni non coglie tutte le combinazioni più gravose di cui si è detto.

Nel seguito sono riportati due esempi in cui è relativamente facile individuare le combinazioni di carico da assumere.

Caso A: trave semplicemente appoggiata con carico permanente e carico accidentale dovuto al vento in depressione



In questo caso c'è un'unica asta con un unico carico variabile. Le combinazioni di tipo fondamentale sono quindi del tipo:

$$F_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q q_k$$

con $\gamma_G = 1,3$ (1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza) e $\gamma_Q = 1,5$ (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza). Al massimo dovremmo in questo caso considerare 4 combinazioni di carico:

$$\text{COMB1} = 1,3 g_k + 1,5 q_k$$

$$\text{COMB2} = 1,3 g_k$$

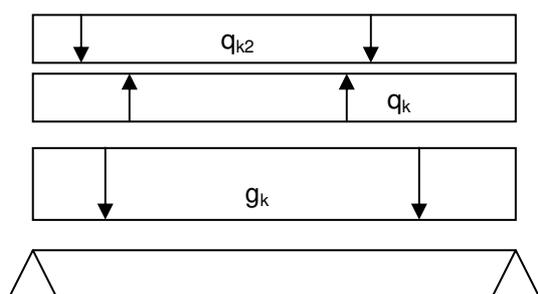
$$\text{COMB3} = 1,0 g_k + 1,5 q_k$$

$$\text{COMB4} = 1,0 g_k$$

È chiaro che la combinazione più punitiva è quella che massimizza il momento flettente in mezzeria. Visto il segno dei carichi è evidente che la COMB2 è più punitiva della COMB4 e che, per una possibile inversione del momento dovuto al vento, la COMB3 è più punitiva della COMB1. Quindi prescindendo dai valori dei carichi in questo caso basta ed occorre considerare le due combinazioni COMB2 e COMB3.

Il generatore automatico di Telai.Az genera le prime due combinazioni se il carico permanente si considera "a sfavore di sicurezza", la terza e la quarta se si considera "a favore di sicurezza". In questo caso l'utente può agire adeguando i moltiplicatori.

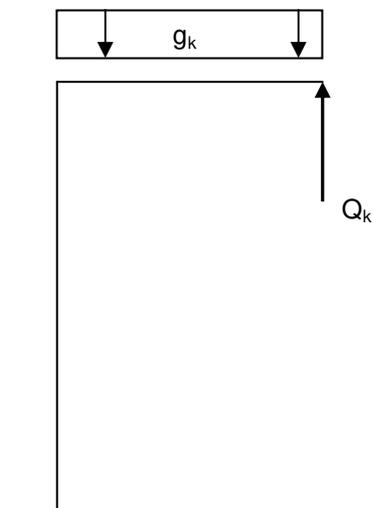
Se fosse presente un ulteriore carico accidentale q_{k2} diretto come quello permanente occorrerebbe considerare (legge di combinazione $F_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k1} + \gamma_Q \psi_{02} Q_{k2}$), seguendo lo stesso ragionamento di sopra, le combinazioni:



$$\text{COMB1} = 1,3 g_k + 1,5 q_{k2} \quad (\text{azione variabile di base } q_{k2})$$

$$\text{COMB2} = 1,0 g_k + 1,5 q_k \quad (\text{azione variabile di base } q_k)$$

Caso B: pensilina con carico permanente e carico accidentale concentrato



Tenuto conto che è presente un solo carico variabile, la legge di combinazione agli SLU è del tipo:

$$F_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q q_k$$

con

$$\gamma_G = 1,3 \text{ (1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);}$$

$$\gamma_Q = 1,5 \text{ (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza).}$$

Le combinazioni agli S.L.U. da considerare sono quindi:

$$\text{COMB1} = 1,3 g_k + 1,5 Q_k$$

$$\text{COMB2} = 1,0 g_k + 1,5 Q_k$$

$$\text{COMB3} = 1,3 g_k$$

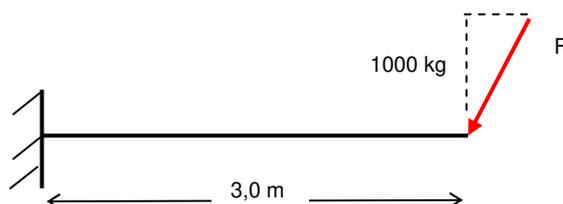
Occorre considerarle tutte e tre perchè la combinazione più gravosa per il pilastro può non essere quella più gravosa per il traverso.

APPENDICE 3 - Esempi applicativi e di validazione del codice

Vedremo ora alcuni esempi al fine di dare ulteriori chiarimenti sull'uso del software e per validare il codice di calcolo confrontando i risultati ottenuti con i risultati ottenuti manualmente e/o riscontrabili in letteratura tecnica.

ESEMPIO 1 – MENSOLA

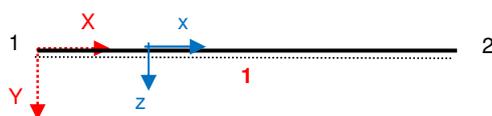
Effettuare l'analisi strutturale e le verifiche di resistenza e di stabilità della seguente mensola in acciaio Fe 360 (profilo IPE 200) soggetta ad una forza F permanente all'estremità, assumendo come normativa di riferimento la norma alle tensioni ammissibili (D.M. 14/02/1992).



Trattasi di una struttura 2D isostatica facilmente risolvibile con le sole equazioni di equilibrio. Lo sforzo normale è costante lungo tutta l'asta e vale -800 kg (di compressione), lo sforzo di taglio è anch'esso costante e vale 1000 kg, il momento flettente è lineare con valore nullo all'estremo libero e valore 3.000 kgm all'incastro. Vedremo che tramite *Telai.Az* si ottengono gli stessi risultati.

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software *Telai.Az* occorre preliminarmente fissare il sistema di riferimento globale XY e numerare i nodi e le aste.



Si hanno 2 nodi, entrambi esterni, e 1 asta. La linea puntinata rappresenta il lembo inferiore dell'asta e determina il sistema di riferimento locale (il sistema di riferimento locale dell'asta 1 ha origine nel nodo 1, asse x coincidente con l'asse dell'asta e diretto verso il nodo 2, l'asse z ortogonale all'asse x e diretto verso il lembo inferiore dell'asta).

In base al sistema di riferimento globale assunto si determinano le coordinate dei nodi (si assume come sistema per le unità di misura il Sistema Tecnico):

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	300	0

Dal menù **FILE** selezionare *Nuovo calcolo*. Dal pannello **DATI GENERALI** inserire, tra l'altro, il numero dei nodi, il numero delle aste e il materiale con cui è realizzata la struttura. Scegliere la normativa di riferimento e spuntare la voce "Effettua verifiche di stabilità" (in questo caso si effettuano anche le verifiche di resistenza).

Fatto ciò occorre definire (pannello **SEZIONI**) la sezione trasversale presente nella struttura, da assegnare successivamente all'unica asta. Trattasi di sezione a doppio T commerciale tabulata per cui i dati vengono direttamente prelevati dagli archivi del software. Alla sezione creata si dà un nome (ad es. IPE200).

Dal menù **MATERIALI>Acciaio da carpenteria** impostare i valori per l'analisi strutturale e scegliere **Tipo acciaio=Fe 360**. Premendo su "calcola parametri" vengono calcolati i parametri del materiale in base alle indicazioni della normativa di riferimento.

Da menù **GEOMETRIA>Coordinate nodi** inserire le coordinate dei nodi:

Nodo	X	Y
1	0	0
2	0	300

In **GEOMETRIA>Aste** inserire i seguenti dati:

Asta	Nodo iniz. i	Nodo finale k	Sezione	Materiale	β_y	β_z
1	1 (Incastro)	2 (Incastro)	IPE200	Acciaio	2	0,5

I coefficienti β (verifica a carico di punta) sono quelli relativi alla mensola nel piano xz e all'incastro nel piano xy. Si è cioè supposto che l'asta nel piano di inflessione locale xy (asse vettore z) sia vincolata ad incastro-incastro.

In **GEOMETRIA>Vincoli esterni**:

Nodo	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	si	Spostamento lungo X: nullo (inserire il valore 0) Spostamento lungo Y: nullo (inserire il valore 0) Rotazione attorno a Z: nullo (inserire il valore 0)
2	si	Spostamento lungo X: ---- (libera) Spostamento lungo Y: ---- (libera) Rotazione attorno a Z: ---- (libera)

Da notare che l'asta ha vincoli di estremità del tipo *Incastro/Incastro* in quanto si tiene conto del vincolo esterno "estremo libero" del nodo 2 nella definizione dei movimenti del vincolo esterno.

Dal pannello **FORME DI CARICO**, essendo il carico agente di tipo permanente, occorre definire una sola forma di carico di tipo permanente "a sfavore di sicurezza":

- 1) PERM (permanente)

N.B. Le forme di carico sono utilizzate per generare le combinazioni di carico. Una forma di carico è presente o meno in una data combinazione di carico; se è presente sarà amplificata o ridotta a seconda se il moltiplicatore del carico sarà maggiore o minore di uno.

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 52 di 98
---	----------------------	---------------

A questo punto è opportuno, inseriti i dati sui nodi e sulle aste, visualizzare il telaio con i riferimenti delle aste e dei nodi scegliendo *Telaio (con riferimenti)* dal menù VISUALIZZA; questo consente di verificare se l'input geometrico è stato corretto.

Dal menù **CARICHI>Carichi nodali** inserire (specificare la forma di carico):

Nodo	Carico nodale
1	---
2	(PERM) $F_x = - 800$ $F_y = 1000$

Dal pannello **COMB. CARICO** si genera l'unica combinazione di carico da assumere nel calcolo:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,0)

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**. I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù VISUALIZZA.

Si riporta uno stralcio del tabulato di calcolo:

VERIFICHE DI RESISTENZA

ASTA 1 (materiale: Acciaio)

verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Sig_id_m	Verif?
0	COMB1	-800	1000	-3000	1572,6	Si
37,5	COMB1	-800	1000	-2625	1379,7	Si
75	COMB1	-800	1000	-2250	1186,8	Si
112,5	COMB1	-800	1000	-1875	993,9	Si
150	COMB1	-800	1000	-1500	801,1	Si
187,5	COMB1	-800	1000	-1125	608,4	Si
225	COMB1	-800	1000	-750	416	Si
262,5	COMB1	-800	1000	-375	245,6	Si
300	COMB1	-800	1000	0	169,2	Si

VERIFICHE DI STABILITA'

ASTA 1 (materiale: Acciaio)

dati verifiche di stabilità (carico di punta e svergolamento)

coeff. beta (in base ai vincoli di estremità dell'asta): $\beta_y=2$ $\beta_z=0,5$

lunghezze libere di inflessione: $L_{o_y}=600$ cm $L_{o_z}=150$ cm

snellezza asta = 72,6

carico critico Euleriano (carico di punta) = 111863,74 kg

tensione critica euleriana = 3925 kg/cm²

coeff. omega (carico di punta) = 1,36

combinaz. di carico: COMB1

Verifica a carico di punta con o senza momento

sforzo normale di compressione di riferimento = -800 kg

momento flettente di riferimento = 2250 kg*m

coeff. di amplificaz. momento flettente $a_M=1,0072$

tensione max nella sezione $\sigma_{gx}=1206,3 \text{ kg/cm}^2$

verifica a carico di punta soddisfatta

Verifica flessione-torsionale (svergolamento)

sforzo normale di compressione di riferimento = -800 kg

momento flettente di riferimento = 2250 kg*m

momento critico elastico di svergolamento $M_{cr}=4979,02 \text{ kg}^2/\text{m}$

tensione critica di svergolamento = 2566,5 kg/cm²

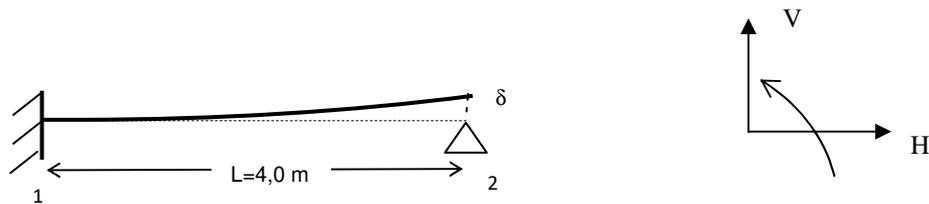
coeff. omega1 di amplificaz. del momento = 1

tensione max nella sezione: $\sigma_{gx}=1168,1 \text{ kg/cm}^2$

verifica a svergolamento soddisfatta

ESEMPIO 2 – TRAVE CON CEDIMENTO VINCOLARE

Effettuare l'analisi strutturale della seguente struttura piana in cui l'appoggio di destra ha subito un cedimento pari a $\delta=5 \text{ cm}$ rispetto alla posizione indeformata. La trave ha sezione rettangolare 30x50 cm ($I_y=30 \times 50^3/12=312.500 \text{ cm}^4$), realizzata in cls con modulo elastico longitudinale pari a $E=280.000 \text{ kg/cm}^2$.



Trattasi di una struttura iperstatica per la quale adottando le soluzioni classiche della Scienza delle Costruzioni si ricava:

- rotazione al nodo due $\gamma_2 = \frac{3\delta}{2L} = \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 400} = 0,01875$ (in senso antiorario)

- reazione vincolare all'incastro:

$$H_1 = 0$$

$$V_1 = -\frac{3EI_y \delta}{L^3} = -\frac{3 \cdot 280000 \cdot 312500 \cdot 5}{400^3} = -20.507,81 \text{ kg} \quad (\text{diretta cioè verso il basso})$$

$$M_1 = -\frac{3EI_y \delta}{L^2} = -\frac{3 \cdot 280000 \cdot 312500 \cdot 5}{400^2} = -8.203.125 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad (\text{verso orario})$$

- reazione vincolare all'appoggio:

$$H_2 = 0$$

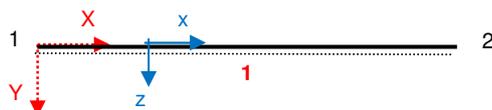
$$V_2 = \frac{3EI_y \delta}{L^3} = \frac{3 \cdot 280000 \cdot 312500 \cdot 5}{400^3} = 20.507,81 \text{ kg} \quad (\text{verso l'alto})$$

$$M_2 = 0$$

Vedremo che tramite *Telai.Az* si ottengono gli stessi risultati.

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software *Telai.Az* occorre preliminarmente fissare il sistema di riferimento globale XY e numerare i nodi e le aste (si ricorda che sono positive le rotazioni orarie)



Si hanno 2 nodi, entrambi esterni, e 1 asta. La linea puntinata rappresenta il lembo inferiore dell'asta e determina il sistema di riferimento locale xyz dell'asta 1 con origine nel nodo 1, asse x coincidente con l'asse dell'asta e diretto verso il nodo 2, l'asse z ortogonale all'asse x e diretto verso il lembo inferiore dell'asta, l'asse y uscente dal piano del foglio.

In base al sistema di riferimento globale assunto si determinano le coordinate dei nodi (si assume come sistema per le unità di misura il Sistema Tecnico):

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	400	0

L'input si effettua come per l'esempio 1. Dal pannello **DATI GENERALI** inserire, tra l'altro, il numero dei nodi, il numero delle aste e il materiale ("C.A." o "generico") con cui è realizzata la struttura. Scegliere come normativa di riferimento il DM 1992.

Fatto ciò occorre definire (pannello **SEZIONI**) la sezione trasversale presente nella struttura, da assegnare successivamente all'unica asta. Alla sezione creata si da un nome (ad es. R30x50).

Dal menù **MATERIALI>Materiale generico** inserire il modulo elastico longitudinale.

Da menù **GEOMETRIA** inserire le coordinate assolute dei due nodi, i dati sull'asta

Asta	Nodo iniz.	Nodo finale	Sezione	Materiale
1	1 (Incastro)	2 (Incastro)	R30x50	Generico

e i dati sui vincoli esterni:

Nodo	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	si	spostamento lungo X: nullo o assegnato (valore pari a 0 essendo vincolo fisso) spostamento lungo Y: nullo o assegnato (0) rotazione attorno a Z: nullo o assegnato (0)
2	si	spostamento lungo X: nullo o assegnato (0) spostamento lungo Y: nullo o assegnato (-5) rotazione attorno a Z: ----- (libera)

Nel nodo 2 si è inserito il cedimento vincolare di 5 cm, negativo in quanto discorde all'asse Y.

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 55 di 98
---	----------------------	---------------

Da notare anche qui che l'asta ha vincoli di estremità del tipo *Incastro/Incastro* in quanto si tiene conto del vincolo esterno "appoggio" nel nodo 2 nella definizione dei movimenti del vincolo 2.

Dal pannello **FORME DI CARICO**, essendo il carico agente di tipo permanente, occorre definire una sola forma di carico di tipo permanente:

- 1) PERM (permanente)

Dal pannello **COMB. CARICO** si genera l'unica combinazione di carico da assumere nel calcolo:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,0)

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**. I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù **VISUALIZZA**.

Si riporta uno stralcio del tabulato di calcolo:

Combinazione di carico: COMB1

CARICHI UNIFORMI. DISTRIBUITI SULLE ASTE

Asta	qx	qz	my
1	0	0	0

CARICHI SUI NODI

Nodo	FX	FY	CZ
1	0	0	0
2	0	0	0

SPOSTAMENTI DEI NODI

Nodo	deltaX (cm)	deltaY (cm)	rotaz.	
1	0	0	0	0
2	0	0	-5	-0,01875

REAZIONI VINCOLARI

Nodo	RX (kg)	RY (kg)	CZ (kg*m)	
1	0	20507,81	82031,23	
2	0	-20507,81	0	

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE DI ESTREMITA' DELLE ASTE

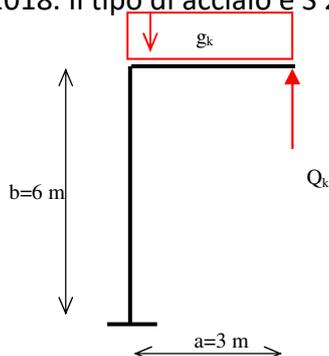
Asta	Nik	Tik	Mik	Nki	Tki	Mki
1	0	20507,81	82031,23	0	-20507,81	0

Come si può notare i risultati (spostamenti e reazioni vincolari) ottenuti con *Telai.Az* sono perfettamente corrispondenti alla soluzione analitica prima indicata.

ESEMPIO 3 – CALCOLO PENSILINA IN ACCIAIO

Sia dato il seguente schema strutturale relativo ad una pensilina in acciaio incastrata alla base e soggetta a un carico permanente uniformemente distribuito $g_k=8$ kN/m e ad un carico accidentale concentrato $Q_k = 12$ kN. Per il pilastro è previsto il profilo HEB 160, per la trave orizzontale il profilo IPE 200.

Effettuare il calcolo e le verifiche di resistenza e di stabilità con la normativa NTC 2018. Il tipo di acciaio è S 235.



In base alla normativa di riferimento assunta (calcolo agli S.L.U.), i coefficienti parziali sulle azioni, che permettono il passaggio dai carichi caratteristici ai carichi di progetto, sono:

- per i carichi permanenti: $\gamma_G = 1,3$ (1,0 quando sono a favore di sicurezza);
- per i carichi accidentali: $\gamma_Q = 1,5$ (0 quando sono a favore di sicurezza).

Le combinazioni di carico **agli S.L.U. di tipo fondamentale** (non è presente sisma) che verranno analizzate, al fine di determinare le massime sollecitazioni negli elementi strutturali, sono di seguito indicate. La **legge di combinazione**, essendo presente un'unica tipologia di carico variabile, è del tipo $F_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q Q_k$.

$$\text{Comb. 1} = 1,3 g_k + 1,5 Q_k$$

$$\text{Comb. 2} = 1,0 g_k + 1,5 Q_k$$

$$\text{Comb. 3} = 1,3 g_k$$

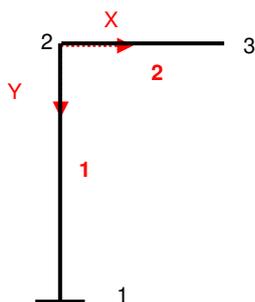
La combinazione Comb. 4 = 1,0 g_k è scartabile a priori in quanto palesemente meno punitiva delle altre, sia per il pilastro che per la trave. Si considera anche la combinazione 2 in quanto non è a priori determinabile se tale combinazione è meno punitiva ad es. della combinazione 1.

La struttura è isostatica e quindi è facilmente determinabile lo stato di sollecitazione in ogni sezione. Ad es. per la combinazione di carico 1 il momento flettente nella sezione di inizio della trave vale:

$$M = Q_k a - g_k a^2/2 = 1,5 \times 12 \times 3 - 1,3 \times 8 \times 9/2 = 7,2 \text{ kNm}$$

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software Telai.Az occorre preliminarmente (telaio piano) numerare i nodi e le aste e fissare il sistema di riferimento globale XY



Si hanno 3 nodi e 2 aste (numeri in colore rosso). In base al sistema di riferimento assunto si determinano le coordinate dei nodi:

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	600
2	0	0
3	300	0

Dal menù **FILE** cliccare su *Nuovo calcolo*. Inserire i dati generali.

Nel menù **SEZIONI** definire le due sezioni che sono presenti in progetto (si decide di dare i seguenti nomi alle sezioni create: *Pilastr* e *Trave*; in alternativa potevamo chiamarle HEB160 e IPE200), scegliendo i due profilati presenti nell'archivio del software e specificando anche la classe della sezione.

Nel pannello **MATERIALI>Acciaio da carpenteria** definire i parametri del materiale.

Dal menù **GEOMETRIA** inserire i seguenti dati:

Nodo	X	Y	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	0	600	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: 0
2	0	0	no	
3	300	0	si	spostam. lungo X: ---- (libera) spostam. lungo Y: ---- (libera) Rotazione attorno a Z: ---- (libera)

Asta	Nodo iniz.	Nodo finale	Sezione	Materiale	β_y	β_z
1	1 (Incastro)	2 (Incastro)	Pilastr	Acciaio	2	1
2	2 (Incastro)	3 (Incastro)	Trave	Acciaio	2	1

I coefficiente beta sono quelli di mensola nel piano locale xz e di asta incernierata agli estremi nel piano locale xy (si suppone la presenza di altri telai nella direzione locale y).

Nel pannello **FORME DI CARICO** definire le due forme di carico:

- 1) PERM (permanente);
- 2) ACC (sovraccarico).

Dal menù **CARICHI>Carichi nodali** inserire:

Nodo	Carico nodale (e forma di carico a cui appartiene)

1	---
2	---
3	(ACC) $F_x = 0$ $F_y = -12$ $C_z = 0$

In **CARICHI**>**Carichi distribuiti** inserire:

Asta	Carico distribuito e forma di carico a cui appartiene
1	----
2	(PERM) $q_x=0$ $q_{z,iniz}=8$ $q_{z,fin}=8$

Come già detto, per i carichi distribuiti q_z (carico distribuito agente con direzione asse locale z) e q_x (carico distribuito agente con direzione asse locale x), applicati sulle aste, occorre precisare le forme di carico e l'intensità dei carichi (valori caratteristici). Il valore dei carichi distribuiti sarà positivo o negativo a seconda se detti carichi sono concordi o meno con la direzione degli assi locali.

Dal pannello **COMB. CARICO** premendo sul generatore di combinazioni di carico vengono create le seguenti due combinazioni di carico:

COMB1 = PERM (1,3)

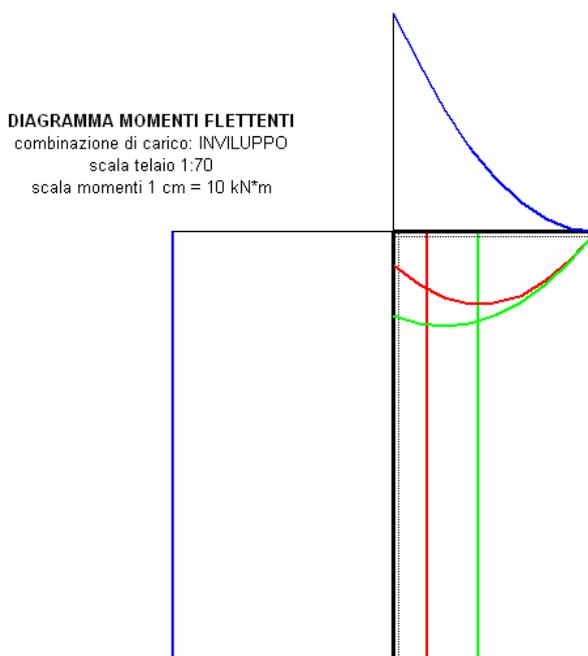
COMB2 = PERM (moltiplicatore 1,3) + ACC (moltiplicatore 1,5)

La terza combinazione di carico può essere inserita a mano:

COMB3 = PERM (1,0) + ACC (1,5)

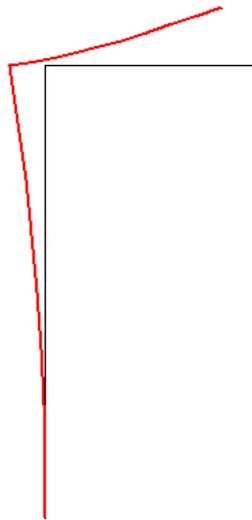
Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**. I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù **VISUALIZZA**.

Qui si riporta il diagramma dei momenti flettenti involucro (tutte le tre combinazioni di carico):



la deformata del telaio per la combinazione di carico 1:

DEFORMATA DEL TELAIO
combinazione di carico: COMB1
scala telaio 1:70
fattore di ingrandimento = 20



e uno stralcio del tabulato di calcolo:

VERIFICHE DI RESISTENZA

ASTA 1 (materiale: Acciaio)

verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Nu/Sig_id_m	Tu	Mu
0	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
75	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
150	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
225	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
300	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
375	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
450	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
525	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41
600	COMB1	-13,2	0	7,2	---	---	88,74
	COMB2	-6	0	18	---	---	89,27
	COMB3	-31,2	0	-46,8	---	---	87,41

ASTA 2 (materiale: Acciaio)

verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Nu/Sig_id_m	Tu	Mu
0	COMB1	0	13,2	7,2	---	181,11	49,38
	COMB2	0	6	18	---	181,11	49,38
	COMB3	0	31,2	-46,8	---	181,11	49,38
37,5	COMB1	0	9,3	11,42	---	181,11	49,38
	COMB2	0	3	19,69	---	181,11	49,38
	COMB3	0	27,3	-35,83	---	181,11	49,38
75	COMB1	0	5,4	14,18	---	181,11	49,38
	COMB2	0	0	20,25	---	---	49,38
	COMB3	0	23,4	-26,32	---	181,11	49,38
112,5	COMB1	0	1,5	15,47	---	181,11	49,38
	COMB2	0	-3	19,69	---	181,11	49,38
	COMB3	0	19,5	-19,28	---	181,11	49,38
150	COMB1	0	-2,4	15,3	---	181,11	49,38
	COMB2	0	-6	18	---	181,11	49,38
	COMB3	0	15,6	-11,7	---	181,11	49,38
187,5	COMB1	0	-6,3	13,67	---	181,11	49,38
	COMB2	0	-9	15,19	---	181,11	49,38
	COMB3	0	11,7	-6,58	---	181,11	49,38
225	COMB1	0	-10,2	10,58	---	181,11	49,38
	COMB2	0	-12	11,25	---	181,11	49,38
	COMB3	0	7,8	-2,93	---	181,11	49,38
262,5	COMB1	0	-14,1	6,02	---	181,11	49,38
	COMB2	0	-15	6,19	---	181,11	49,38
	COMB3	0	3,9	-0,73	---	181,11	49,38
300	COMB1	0	-18	0	---	181,11	---
	COMB2	0	-18	0	---	181,11	---
	COMB3	0	0	0	---	181,11	---

VERIFICHE DI STABILITA'

ASTA 1 (materiale: Acciaio)

dati verifiche di stabilità (carico di punta e svergolamento)
 coeff. beta (in base ai vincoli di estremità dell'asta): beta_y=2 beta_z=1
 lunghezze libere di inflessione: Lo_y=1200 cm Lo_z=600 cm
 snellezza asta: Snell_y=177 Snell_z=148,1
 carico critico Euleriano (carico di punta): Pcr_y=351,85 kN Pcr_z=502,07 kN

combinaz. di carico: COMB1
Verifica a carico di punta con o senza momento
 sforzo normale di compressione di riferimento = -13,2 kN
 momento flettente di riferimento = 7,2 kN*m
 snellezza adimensionale: Sn_a_y=1,9 Sn_a_z=1,6
 gli effetti di instabilità si possono trascurare: verifica a carico di punta soddisfatta

Verifica flessione-torsionale (svergolamento)
 sforzo normale di compressione di riferimento = -13,2 kN
 momento flettente di riferimento = 7,2 kN*m
 momento critico elastico di svergolamento Mcr=101,15 kN*m
 tensione critica di svergolamento=325,3 kN/m
 coefficiente di snellezza adimensionale = 0,91
 coeff. kc e fattore f (in base alla reale distrib. del momento flettente tra i ritegni torsionali), Kc=1 f=1
 fattore di imperfezione, alfa = 0,34
 fattore di riduzione, xsi_LT = 0,6568
 Momento resistente all'instabilità flessione-torsionale, MbRd = 52,03 kN*m
 rapporto Mr1/MbRd = 0,14
 verifica a svergolamento soddisfatta

combinaz. di carico: COMB2
Verifica a carico di punta con o senza momento
 sforzo normale di compressione di riferimento = -6 kN
 momento flettente di riferimento = 18 kN*m
 snellezza adimensionale: Sn_a_y=1,9 Sn_a_z=1,6
 gli effetti di instabilità si possono trascurare: verifica a carico di punta soddisfatta

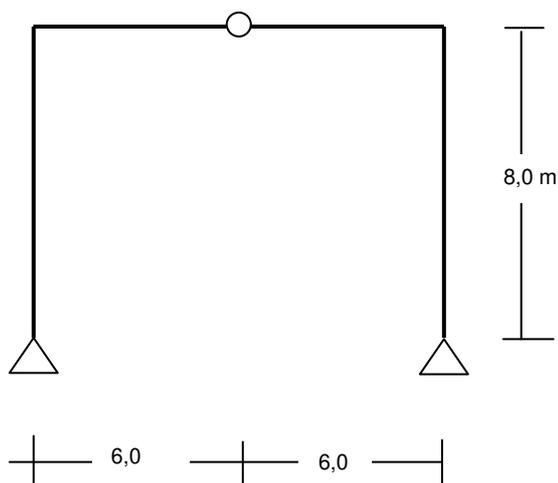
Verifica flessione-torsionale (svergolamento)
 sforzo normale di compressione di riferimento = -6 kN
 momento flettente di riferimento = 18 kN*m
 momento critico elastico di svergolamento Mcr=101,15 kN*m
 tensione critica di svergolamento=325,3 kN/m
 coefficiente di snellezza adimensionale = 0,91
 coeff. kc e fattore f (in base alla reale distrib. del momento flettente tra i ritegni torsionali), Kc=1 f=1
 fattore di imperfezione, alfa = 0,34
 fattore di riduzione, xsi_LT = 0,6568
 Momento resistente all'instabilità flessione-torsionale, MbRd = 52,03 kN*m
 rapporto Mr1/MbRd = 0,35
 verifica a svergolamento soddisfatta

combinaz. di carico: COMB3
Verifica a carico di punta con o senza momento
 sforzo normale di compressione di riferimento = -31,2 kN
 momento flettente di riferimento = 46,8 kN*m
 snellezza adimensionale: Sn_a_y=1,9 Sn_a_z=1,6
 fattore di imperfezione: alfa_y=0,34 alfa_z=0,49
 coefficiente xsi: xsi_y=0,2284 xsi_z=0,2859
 Resistenza all'instabilità a carico di punta: NbRd_y=277,6 kN NbRd_z=347,4 kN
 rapporti Nr/NbRd: Nr/NbRd_y=0,11 Nr/NbRd_z=0,09
 verifica a carico di punta soddisfatta

Verifica flessione-torsionale (svergolamento)
 sforzo normale di compressione di riferimento = -31,2 kN
 momento flettente di riferimento = 46,8 kN*m
 momento critico elastico di svergolamento Mcr=101,15 kN*m
 tensione critica di svergolamento=325,3 kN/m
 coefficiente di snellezza adimensionale = 0,91
 coeff. kc e fattore f (in base alla reale distrib. del momento flettente tra i ritegni torsionali), Kc=1 f=1
 fattore di imperfezione, alfa = 0,34
 fattore di riduzione, xsi_LT = 0,6568

ESEMPIO 4 – CALCOLO TELAIO PIANO IN ACCIAIO

Effettuare l'analisi strutturale e le verifiche di resistenza e di stabilità, assumendo come normativa di riferimento le NTC di cui al D.M. 14/01/2018, del seguente telaio base di una struttura in acciaio:

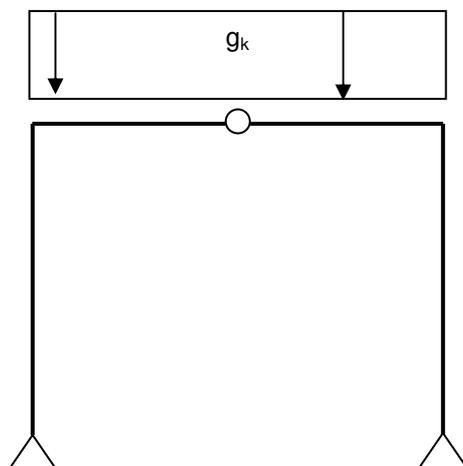


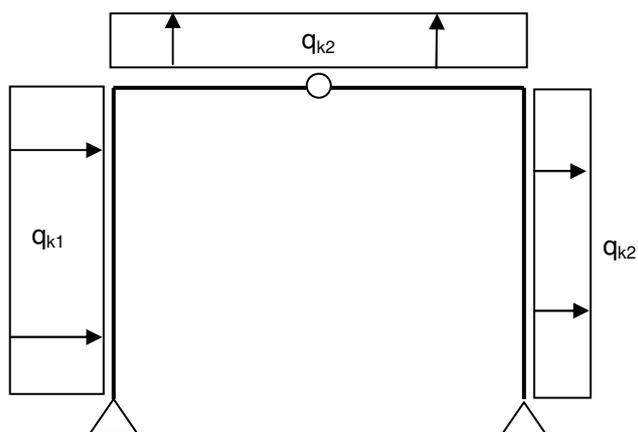
Per le aste pilastro si prevede di realizzarle con profilato HEA260, il traverso con IPE 240 (acciaio tipo S 275).

L'analisi dei carichi sia la seguente (valori caratteristici dei carichi):

- carico permanente sul traverso di copertura $g_k = 8 \text{ kN/m}$
- carichi variabili (vento) $q_{k1} = 2,56 \text{ kN/m}$, $q_{k2} = 1,28 \text{ kN/m}$

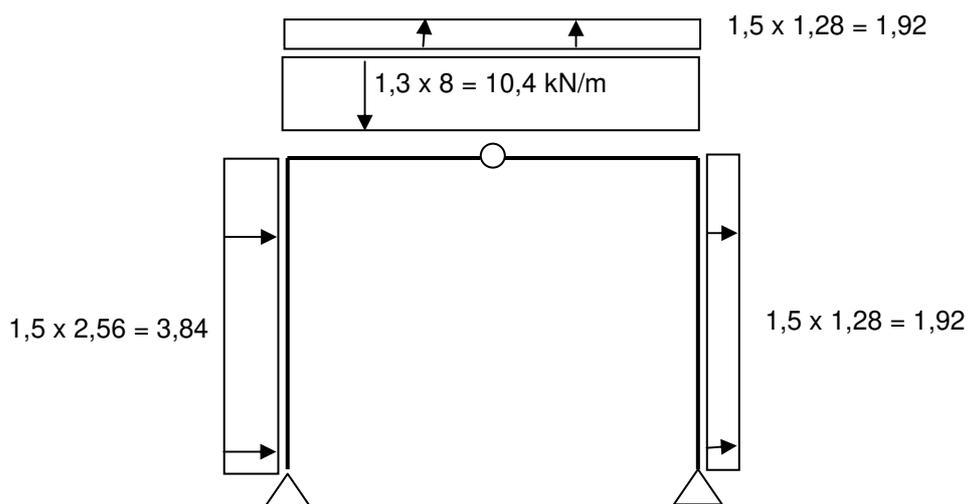
Tali carichi agiscono sulle aste con i versi sotto indicati. Non ci sono carichi concentrati applicati ai nodi.



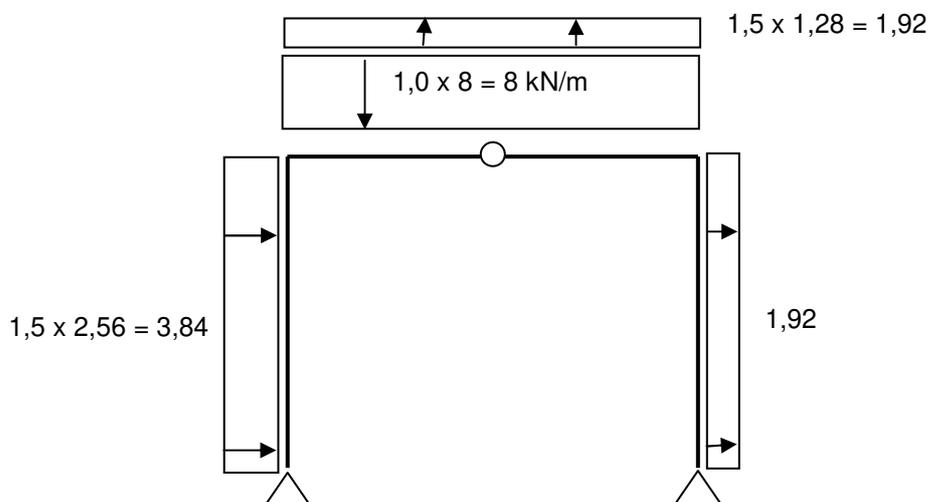


Le combinazioni di carico che verranno analizzate, al fine di determinare le massime sollecitazioni negli elementi strutturali, sono le seguenti (la **legge di combinazione**, essendo presente un'unica tipologia di carico variabile, è del tipo $F_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q q_k$):

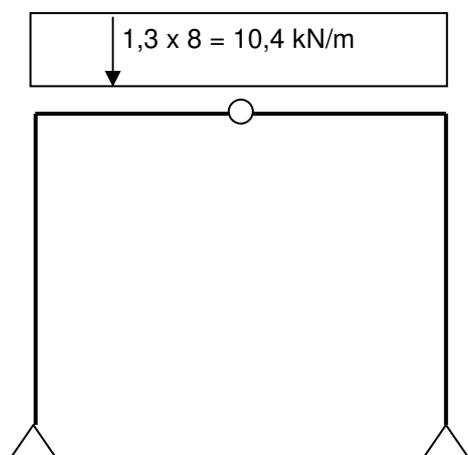
Combinazione n° 1 = $1,3 g_k + 1,5 q_k$



Combinazione n° 2 = $1,0 g_k + 1,5 q_k$



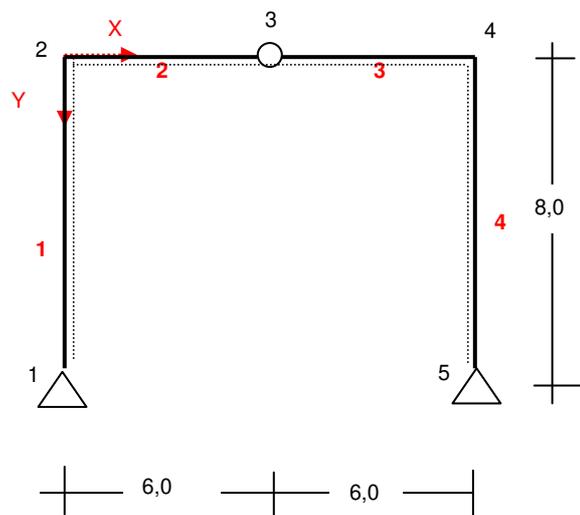
Combinazione n° 3 = 1,3 g_k



Da notare che la combinazione $F_d = 1,0 \text{ g}_k$ non viene considerata in quanto meno gravosa della combinazione 3.

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software *Telai.Az* occorre preliminarmente fissare il sistema di riferimento globale XY e numerare i nodi e le aste.



Si ottengono 5 nodi, di cui 2 esterni, e 4 aste. La linea puntinata per ogni asta (scelta dall'utente al momento in cui si fissano i nodi di estremità delle aste) rappresenta il lembo inferiore delle aste e determina il sistema di riferimento locale di ogni asta (il sistema di riferimento locale ad es. dell'asta 1 ha origine nel nodo 1, asse x coincidente con l'asse dell'asta e diretto verso il nodo 2, l'asse z ortogonale all'asse x e diretto verso il lembo inferiore dell'asta).

In base al sistema di riferimento globale assunto si determinano le coordinate dei nodi (si assume come sistema per le unità di misura il Sistema Internazionale):

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	800
2	0	0
3	600	0
4	1200	0
5	1200	800

Dal menù **FILE** selezionare *Nuovo calcolo*. Dal menù **DATI GENERALI** inserire, tra l'altro, il numero dei nodi e il numero delle aste. Dal menù **SEZIONI** creare le due sezioni di progetto chiamandole ad es. HEA260 e IPE240. Trattandosi di sezioni commerciali il software in automatico fornisce i dati geometrici corrispondenti ai profili scelti.

Dal pannello **MATERIALI** scegliere il tipo di acciaio e calcolare i relativi parametri.

Dal menù **GEOMETRIA** si inseriscono le coordinate dei nodi e i seguenti altri dati:

Asta	Nodo iniz.	Nodo finale	Sezione	Materiale	β_y	β_z
1	1 (Incastro)	2 (Incastro)	HEA260	Acciaio	1	1
2	2 (Incastro)	3 (Cerniera)	IPE240	Acciaio	1	1
3	3 (Cerniera)	4 (Incastro)	IPE240	Acciaio	1	1
4	4 (Incastro)	5 (Incastro)	HEA260	Acciaio	1	1

Nodo	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: libera
2	no	
3	no	
4	no	
5	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: libera

Da notare che le aste 1 e 4 hanno vincoli di estremità del tipo *Incastro/Incastro* in quanto si è tenuto conto dei vincoli esterni cerniera nella definizione dei movimenti impediti o liberi dei nodi 1 e 5. In alternativa si poteva considerare i nodi cerniera 1 e 5 "interni" impostando, quindi, tutti i movimenti al nodo 1 e 5 impediti (traslazione lungo X e Y e rotazione attorno a Z) e inserire per l'asta 1 come vincoli di estremità *Cerniera/Incastro* e per l'asta 4 *Incastro/Cerniera*.

A questo punto è opportuno, al fine di verificare se l'input geometrico è stato corretto, visualizzare il telaio con i riferimenti delle aste e dei nodi scegliendo *Telaio (con riferimenti)* dal menù VISUALIZZA.

Nel pannello **FORME DI CARICO** definire le due forme di carico:

- 1) PERM (permanente), sfavorevole alla sicurezza
- 2) VENTO_SX (vento), da sinistra

In **CARICHI>Carichi distribuiti** inserire:

Asta	Carico distribuito e forma di carico a cui appartiene				
1	1)	VENTO_SX	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=2,56$	$q_{z,fin}=2,56$
2	1)	PERM	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=8$	$q_{z,fin}=8$
	2)	VENTO_SX	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=-1,28$	$q_{z,fin}=-1,28$
3	1)	PERM	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=8$	$q_{z,fin}=8$
	2)	VENTO_SX	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=-1,28$	$q_{z,fin}=-1,28$
4	1)	VENTO_SX	$q_x=0$	$q_{z,iniz}=-1,28$	$q_{z,fin}=-1,28$

Per le aste 2, 3 e 4, essendo il vento di segno discorde rispetto al sistema di riferimento locale assunto per le dette aste, il segno di q_z è negativo (essendo il carico uniforme, i valori a inizio asta e a fine asta coincidono). Per le aste 2 e 3 sono state inserire entrambe le forme di carico che le interessano.

Dal pannello **COMB. CARICO** si generano le combinazioni di carico. Vengono generate le due seguenti combinazioni di carico:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,3)

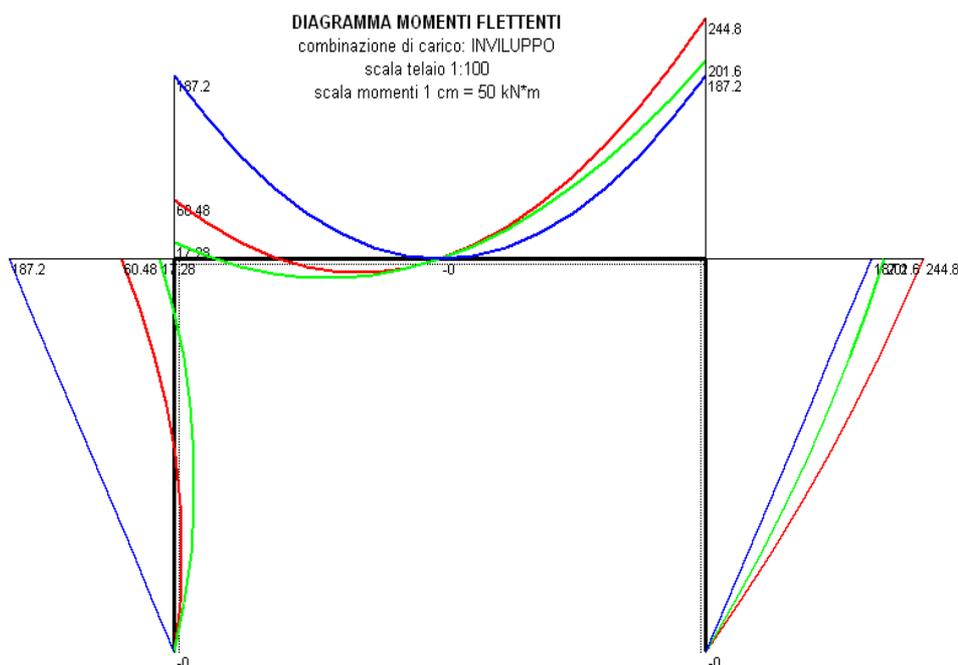
COMB2 = PERM (1,3) + VENTO_SX (1,5)

La terza combinazione di carico, ottenuta con il moltiplicatore 1,0 per i carichi permanenti, la creiamo manualmente:

COMB3 = PERM (1,0) + VENTO_SX (1,5)

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**. I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù **VISUALIZZA**.

Nel seguito si riporta il diagramma dei momenti flettenti per tutte le combinazioni di carico esaminate:



Le verifiche di resistenza mostrano che in certe sezioni si superano le resistenze di progetto. Occorre quindi riprogettare la struttura es. assumendo profilato più grandi.

ASTA 2 (materiale: Acciaio)

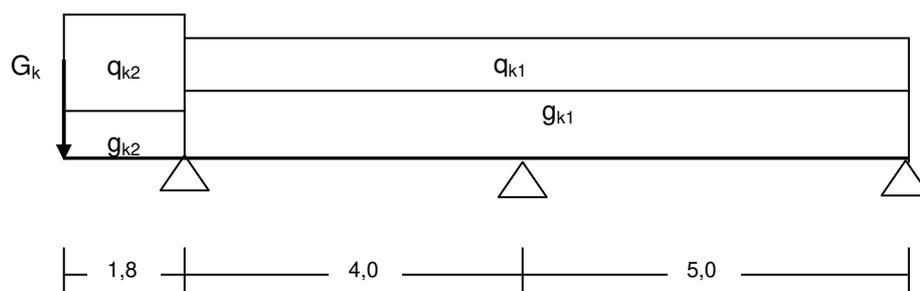
verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Nu/Sig_id_m	Tu	Mu	Verif?
0	COMB1	-22,92	35,52	-60,48	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	21,12	-17,28	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	62,4	-187,2	---	289,23	117,18	No
75	COMB1	-22,92	29,16	-36,22	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	16,56	-3,15	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	54,6	-143,32	---	289,23	117,18	No
150	COMB1	-22,92	22,8	-16,74	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	12	7,56	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	46,8	-105,3	---	289,23	117,18	Si
225	COMB1	-22,92	16,44	-2,03	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	7,44	14,85	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	39	-73,12	---	289,23	117,18	Si
300	COMB1	-22,92	10,08	7,92	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	2,88	18,72	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	31,2	-46,8	---	289,23	117,18	Si
375	COMB1	-22,92	3,72	13,09	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	-1,68	19,17	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	23,4	-26,33	---	289,23	117,18	Si
450	COMB1	-22,92	-2,64	13,5	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	-6,24	16,2	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	15,6	-11,7	---	289,23	117,18	Si
525	COMB1	-22,92	-9	9,13	---	289,23	117,23	Si
	COMB2	-17,52	-10,8	9,81	---	289,23	117,87	Si
	COMB3	-23,4	7,8	-2,93	---	289,23	117,18	Si
600	COMB1	-22,92	-15,36	0	19,95	---	---	Si
	COMB2	-17,52	-15,36	0	19,59	---	---	Si
	COMB3	-23,4	0	0	1024,05	---	---	Si

Anche le verifiche di stabilità non sono ovunque soddisfatte.

ESEMPIO 5 – ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI PER UN SOLAIO IN LATERO-CEMENTO

Sia dato un solaio il cui schema di calcolo sia rappresentato dalla seguente trave continua (striscia di solaio larga 100 cm avente altezza 20 cm)

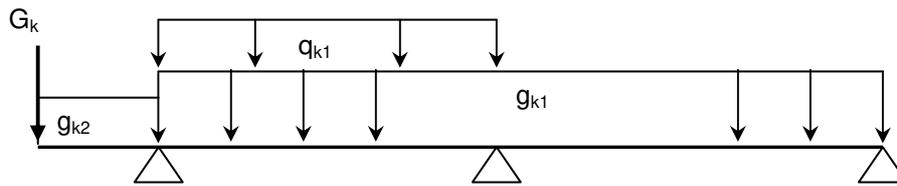


Come normativa di riferimento si utilizzano le NTC di cui al D.M. 14/01/2018. L'analisi dei carichi sia la seguente (valori caratteristici dei carichi):

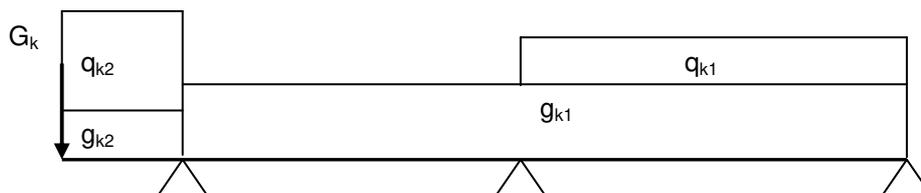
Destinazione d'uso	Carico permanente comprensivo del peso proprio	Carico accidentale
Civile abitazione solaio interno	$g_{k1} = 4,83 \text{ kN/m}$	$q_{k1} = 2,00 \text{ kN/m}$
Balcone	$g_{k2} = 3,87 \text{ kN/m}$	$q_{k2} = 4,00 \text{ kN/m}$
Parapetto	$G_k = 3,20 \text{ kN}$	

Le **combinazioni di carico** che verranno analizzate, al fine di massimizzazione i momenti flettenti in mezzeria e agli appoggi, sono le seguenti:

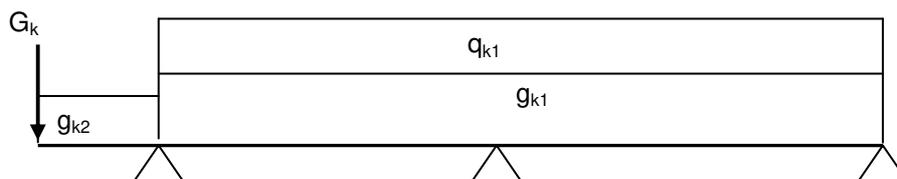
Combinaz. n° 1 (carico permanente + accidentale su 2ª campata)



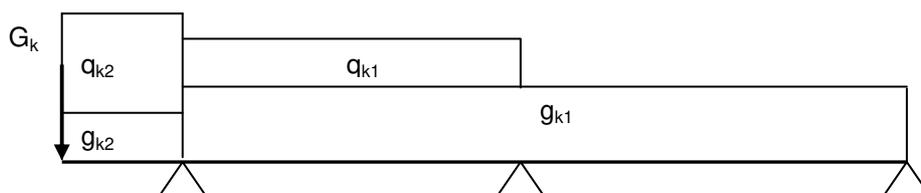
Combinaz. n° 2 (carico permanente + accidentale su 1^a e 3^a campata)



Combinaz. n° 3 (carico permanente + accidentale su 2^a e 3^a campata)



Combinaz. n° 4 (carico permanente + accidentale su 1^a e 2^a campata)



In base alla normativa di riferimento assunta (calcolo agli S.L.U.) e tenuto conto che i carichi sono concordi, i coefficienti parziali sulle azioni, che permettono il passaggio dai carichi caratteristici ai carichi di progetto, sono:

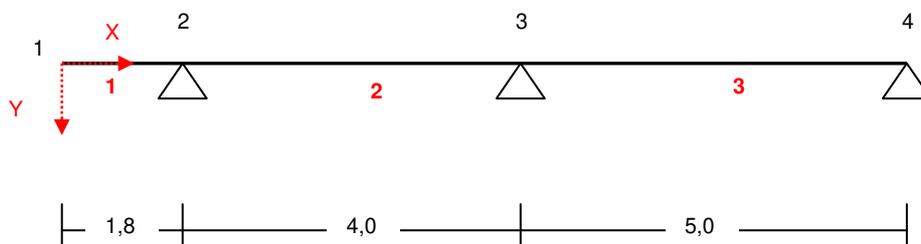
- per i carichi permanenti: $\gamma_G = 1,3$;
- per i carichi accidentali: $\gamma_Q = 1,5$.

Da notare che l'escludere nelle combinazioni considerate un certo carico variabile corrisponde ad assumere per esso $\gamma_Q = 0$.

N.B. per il calcolo agli S.L.E. o di servizio i coefficienti parziali sono unitari.

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software *Telai.Az* occorre preliminarmente numerare i nodi e le aste e fissare il sistema di riferimento globale XY



Si hanno 4 nodi e 3 aste (numeri in colore rosso).

In base al sistema di riferimento assunto si determinano le coordinate dei nodi (si assume per le unità di misura il Sistema Internazionale):

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	180	0
3	580	0
4	1080	0

Dal menù **FILE** cliccare su *Nuovo calcolo*. Dal pannello **DATI GENERALI** inserire/scegliere:

- numero di aste = 3;
- numero di nodi = 4;
- normativa di riferimento: D.M. 14/01/2018 (metodo agli Stati Limite);
- sistema per le unità di misura: Sistema Internazionale;
- materiale costituente la struttura: C.A.

Non selezionare “Calcolo automatico del peso proprio delle aste” in quanto il peso proprio è stato conglobato nei carichi permanenti.

Dal menù **SEZIONI** creare una sezione rettangolare 100x20 cm e specificare il nome della sezione (es. R100x20). Premendo su **Calcola** è possibile ottenere in automatico l'area e i momenti d'inerzia della sezione¹⁰.

Dal pannello **MATERIALI** scegliere *Rck* del calcestruzzo e *Tipo di acciaio*. I parametri dei materiali, tra cui quelli necessari per le verifiche di resistenza (che in questa sede non interessano), possono essere calcolati premendo su *Calcola parametri* (si

¹⁰ Si fa notare che nel caso di sezioni in C.A. o in latero-cemento, le proprietà sono calcolate supponendo la sezione omogenea interamente reagente, trascurando quindi la presenza di tondini di acciaio e l'effetto della parzializzazione dovuto alla fessurazione del lembo teso della sezione. Ciò è lecito per il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione mentre per il calcolo delle frecce di inflessione del solaio è opportuno tenere conto dell'effetto di riduzione dell'inerzia ad opera della fessurazione.

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 69 di 98
---	----------------------	---------------

adottano le formule della normativa di riferimento prescelta). In ogni caso tali parametri possono essere modificati dall'utente.

Dal menù **GEOMETRIA** inserire le coordinate dei nodi e i seguenti altri dati:

Asta	Nodo iniz.	Nodo finale	Sezione	Materiale
1	1 (Incastro)	2 (Incastro)	R100x20	C.A.
2	2 (Incastro)	3 (Incastro)	R100x20	C.A.
3	3 (Incastro)	4 (Incastro)	R100x20	C.A.

Nodo	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	si	spostam. lungo X: libera spostam. lungo Y: libera Rotazione attorno a Z: libera
2	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: libera
3	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: libera
4	si	spostam. lungo X: 0 spostam. lungo Y: 0 Rotazione attorno a Z: libera

Tutti i nodi sono esterni. I nodi 2, 3 e 4 hanno come movimenti impediti la traslazione lungo X e la traslazione lungo Y. Il nodo 1 non ha nessun movimento impedito (anche l'asta 1 ha come vincoli di estremità *Incastro/Incastro*).

Dal pannello **FORME DI CARICO** è possibile definire le "Forme di carico". Per il caso in esame, dovendo introdurre combinazioni di carico in cui i carichi variabili sono presenti anche non contemporaneamente su tutta la struttura, occorre definire 4 forme di carico:

PERM (permanente)

SOVR1 (sovraccarico 1^a campata)

SOVR2 (sovraccarico 2^a campata)

SOVR3 (sovraccarico 3^a campata)

In questo modo i carichi variabili potranno essere gestiti anche singolarmente tra loro. Se invece si prevedeva la loro presenza (o assenza) contemporanea bastava definire una sola forma di carico di tipo sovraccarico.

Dal menù **CARICHI>Carichi nodali** inserire:

Nodo	Carico nodale (e forma di carico a cui appartiene)
1	(PERM) $F_x = 0$ $F_y = 3,2$ $C_z = 0$
2	---
3	---
4	---

In **CARICHI>Carichi distribuiti** inserire:

Asta	Carico distribuito e forma di carico a cui appartiene			
1	PERM	$q_x=0$	$q_{z,in}=3,87$	$q_{z,fin}=3,87$
	SOVR1	$q_x=0$	$q_{z,in}=4,00$	$q_{z,fin}=4,00$
2	PERM	$q_x=0$	$q_{z,in}=4,83$	$q_{z,fin}=4,83$
	SOVR2	$q_x=0$	$q_{z,in}=2,00$	$q_{z,fin}=2,00$
3	PERM	$q_x=0$	$q_{z,in}=4,83$	$q_{z,fin}=4,83$
	SOVR2	$q_x=0$	$q_{z,in}=2,00$	$q_{z,fin}=2,00$

Dal pannello **COMB. CARICO** si definiscono le combinazioni di carico. Nel caso in esame le quattro combinazioni di carico sono:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,3) + SOVR2 (moltiplicatore 1,5)

COMB2 = PERM (1,3) + SOVR1 (1,5) + SOVR3 (1,5)

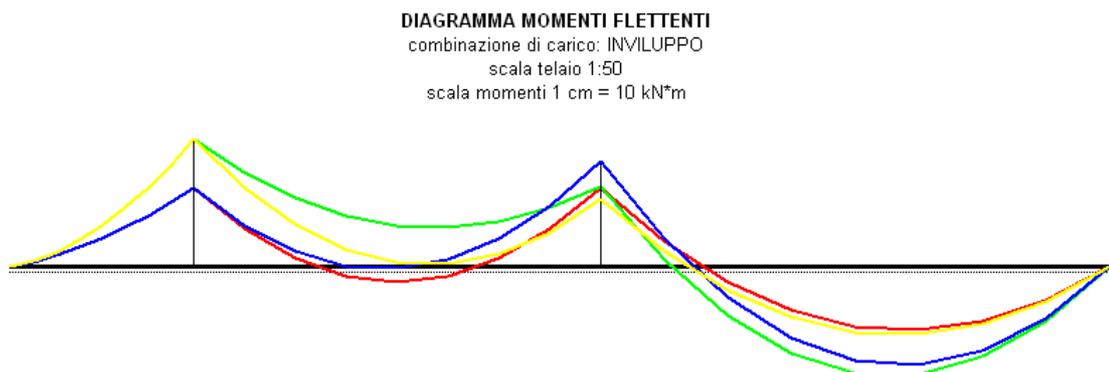
COMB3 = PERM (1,3) + SOVR2 (1,5) + SOVR3 (1,5)

COMB4 = PERM (1,3) + SOVR1 (1,5) + SOVR2 (1,5)

Da notare che se si utilizza il generatore delle combinazioni di carico, occorre modificare le combinazioni generate (ne vengono create sette con moltiplicatori del tipo $\gamma_Q \cdot \psi_0$ in quanto i sovraccarichi si considerano indipendenti tra loro. Un artificio che si può usare in questi casi è quello di porre paria a uno il coefficiente di combinazione ψ_0 nelle varie forme di carico di tipo "accidentale").

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**. I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù VISUALIZZA.

Nel seguito si riporta il diagramma dei momenti flettenti per tutte le combinazioni di carico esaminate:

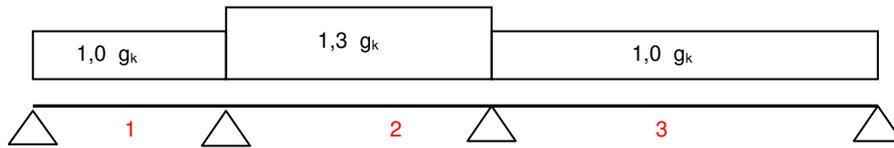


N.B. Alcune volte il carico permanente è a favore di sicurezza e in questi casi occorre considerare il coefficiente parziale pari a uno.

Per rendere meglio l'idea si consideri la seguente trave continua formata da tre campate soggetta a solo carichi permanenti g_k . Volendo massimizzare il momento flettente nella mezzeria della campata centrale occorre considerare i carichi $1,0 g_k$ nelle campate estreme e il carico $1,3 g_k$ nella campata centrale. In questo caso occorre definire due forme di carico (PERM1-3, PERM2) di tipo "permanente", di cui la prima "a favore di sicurezza" e la seconda "a sfavore di sicurezza". La forma di

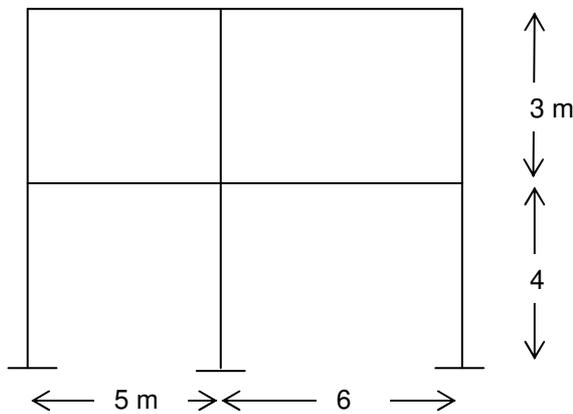
carico PERM1-3 viene inserita nelle aste 1 e 3 e la forma PERM2 nell'asta 2. La combinazione di carico generata sarà:

COMB1 = PERM1-3 (molt=1) + PERM2 (molt=1,3)

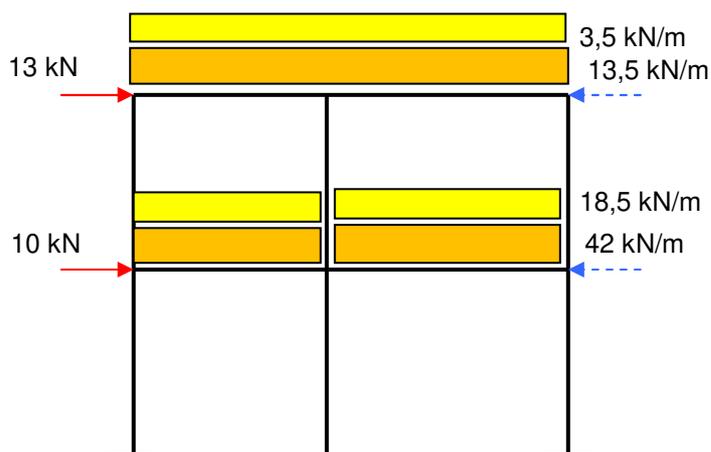


ESEMPIO 6 – CALCOLO TELAIO PIANO DI EDIFICIO A DUE PIANI

Sia dato il seguente telaio regolare in C.A. avente due piani e due campate (i pilastri, di forma rettangolare, hanno dimensioni $B = 30 \text{ cm}$ e $H = 50 \text{ cm}$, le travi $B = 30 \text{ cm}$ e $H = 60 \text{ cm}$):



I carichi permanenti G_k , i sovraccarichi variabili Q_k (agenti tutti verso il basso) e le azioni sismiche sono le seguenti:



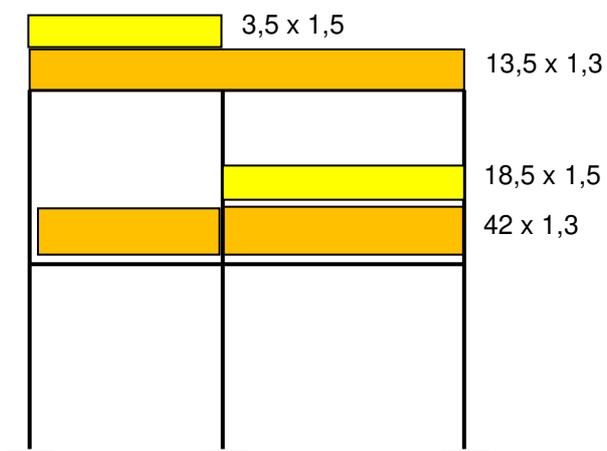
In figura sono indicate le forze orizzontali (colore rosso) che simulano il sisma proveniente da sinistra. Le forze in blu, di pari intensità, simulano il sisma proveniente da destra. I due sistemi di forze non agiscono contemporaneamente.

La legge di combinazione agli SLU (**combinazione fondamentale**) è del tipo:

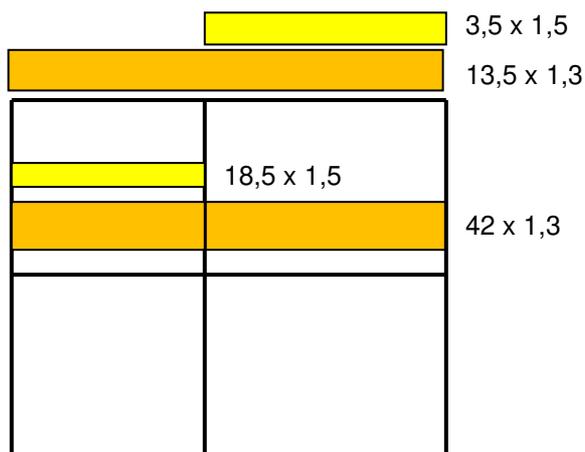
$$F_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$$

Essendo i carichi permanenti ed accidentali diretti tutti verso il basso i coefficienti parziali sulle azioni valgono: $\gamma_G = 1,3$ e $\gamma_Q = 1,5$. Riguardo alla disposizione spaziale dei carichi accidentali volta a determinare le massime sollecitazioni nelle aste verranno considerate le seguenti combinazioni di carico.

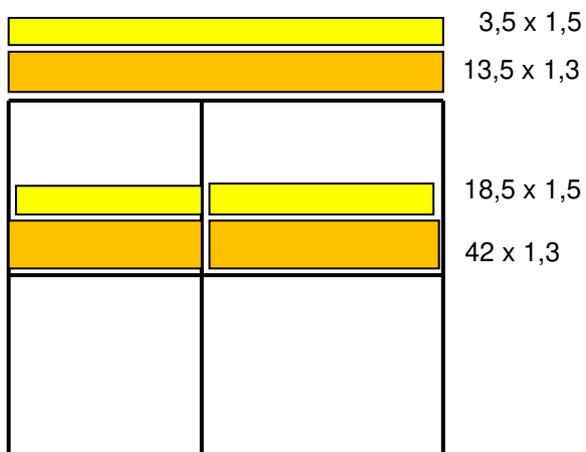
Combinaz. n° 1



Combinaz. n° 2



Combinaz. n° 3

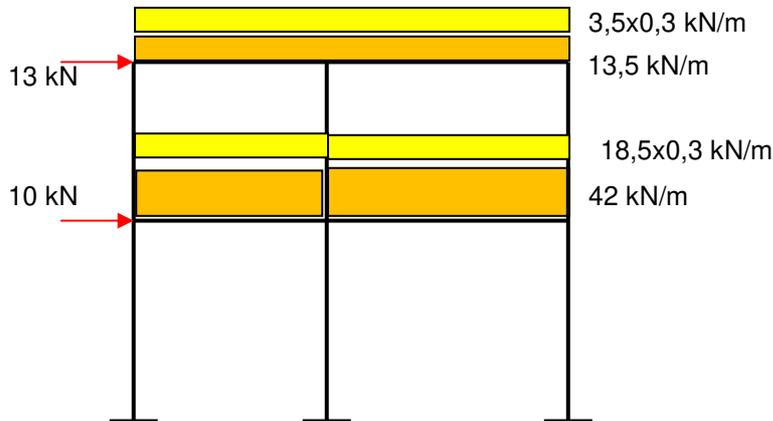


Come **combinazioni sismiche**, essendo la legge di combinazione del tipo

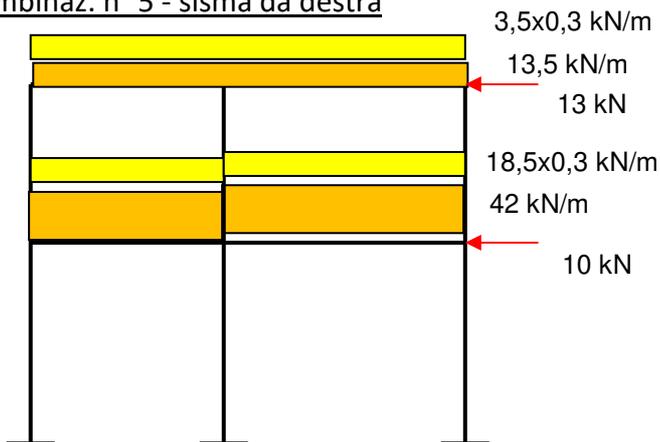
$$F_d = E + G_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

saranno considerate le seguenti combinazioni (carico accidentale ovunque presente per massimizzare la massa dell'edificio soggetta alle azioni dinamiche).

Combinaz. n° 4 - sisma da sinistra

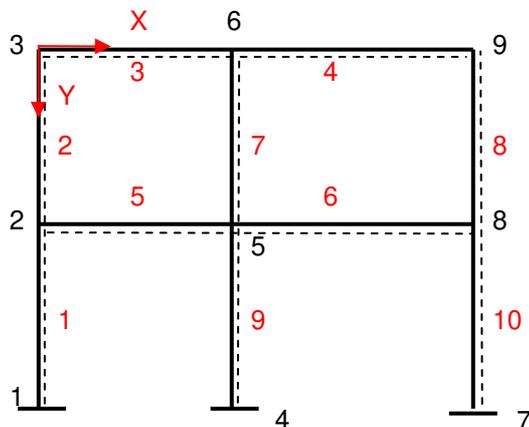


Combinaz. n° 5 - sisma da destra



Analisi con Telai.Az

Si fissa il sistema di riferimento globale XY e si numerano le aste e i nodi.



Si hanno 10 aste e 9 nodi. Si fissa la parte inferiore di ogni asta (ossia si fissa il sistema di riferimento locale di ogni asta).

Possano determinarsi le coordinate assolute dei nodi.

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	700
2	0	300
3	0	0
4	500	700
5	500	300
6	500	0
7	1100	700
8	1100	300
9	1100	0

Si richiede al programma di calcolare in automatico il peso proprio della struttura. Dovendo gestire i sovraccarichi accidentali anche singolarmente, occorre definire le seguenti sette forme di carico:

- 1) PERM (permanente) a sfavore di sicurezza
- 2) ACC1 (sovraccarico) relativo all'asta 3
- 3) ACC2 (sovraccarico) relativo all'asta 4
- 4) ACC3 (sovraccarico) relativo all'asta 5
- 5) ACC4 (sovraccarico) relativo all'asta 6
- 6) SISMA_SX (sisma) proveniente da sinistra
- 7) SISMA_DX (sisma) proveniente da destra

Nei nodi 2 e 3 occorre inserire le forze nodali che rappresentano il sisma proveniente da sinistra (forze aventi componente solo lungo l'asse globale X e con valori positivi essendo concordi con X). Analogamente nei nodi 8 e 9 occorre inserire le forze nodali che rappresentano il sisma proveniente da destra (forze aventi componente solo lungo l'asse globale X e con valori negativi essendo discordi con X).

Le combinazioni di carico (5) da definire sono:

COMBINAZIONI DI CARICO S.L.U.	
5	Numero di combinazioni create

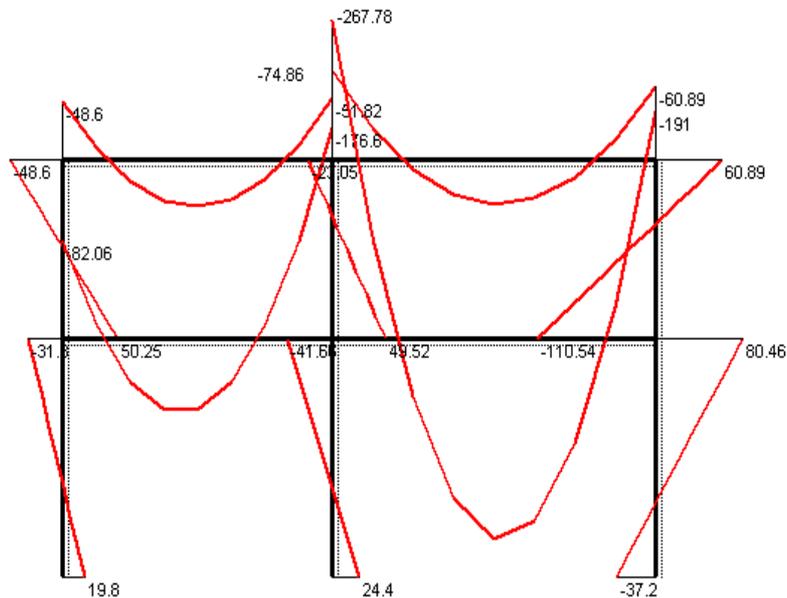
Nome combinaz.	FORME DI CARICO E MOLTIPLICATORI										
	PERM	ACC1	ACC2	ACC3	ACC4	SISMA_S X	SISMA_D X				
	permanente	sovraccarico	sovraccarico	sovraccarico	sovraccarico	sisma	sisma				
COMB. 1 (SLU-F)	1,3	1,5	0	0	1,5	0	0				
COMB. 2 (SLU-F)	1,3	0	1,5	1,5	0	0	0				
COMB. 3 (SLU-F)	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0				
COMB. 4 (SLU-S)	1	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0				
COMB. 5 (SLU-S)	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0	1				

Da osservare che se si utilizza il generatore delle combinazioni di carico, occorre modificare le combinazioni generate (ne vengono create molte di più con moltiplicatori del tipo $\gamma_Q \cdot \psi_0$ in quanto i sovraccarichi si considerano indipendenti tra loro).

Qui di seguito è riportato, a calcolo eseguito, il diagramma dei momenti flettenti sulla struttura relativo alla prima combinazione di carico.

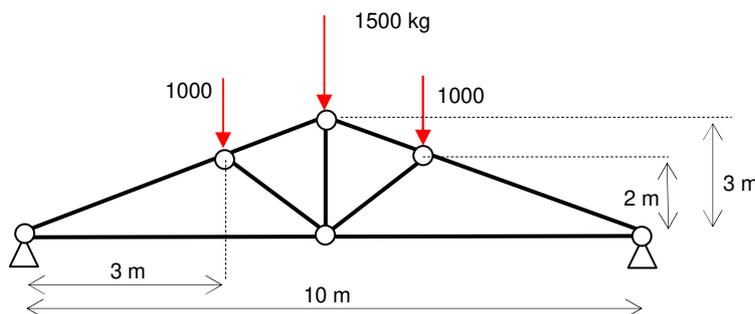
DIAGRAMMA MOMENTI FLETTENTI

combinazione di carico: COMB1
scala telaio 1:100
scala momenti 1 cm = 50 kN*m



ESEMPIO 7 – TRAVE RETICOLARE PIANA

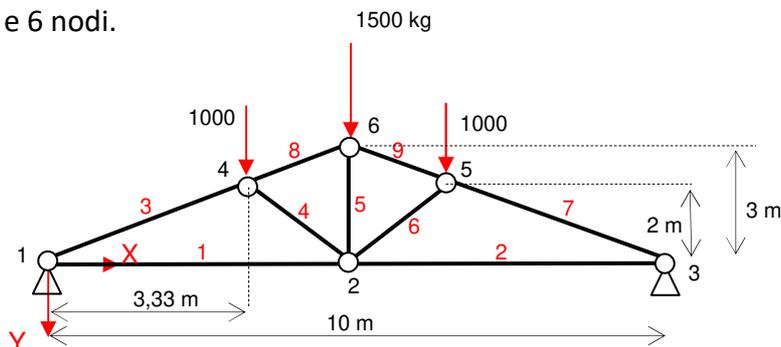
Consideriamo la seguente trave reticolare piana in acciaio soggetta a carichi permanenti:



Effettuiamo il calcolo, comprese le verifiche di stabilità, con il metodo delle tensioni ammissibili. Le aste, realizzate in acciaio Fe 430, sono tutte con sezione tubolare di diametro 20 cm e spessore 2 cm.

Si tenga presente che si tratta di struttura con i nodi tutti cerniera (spuntare la relativa opzione nel menù DATI GENERALI).

Al solito fissiamo il sistema di riferimento globale XY e numeriamo le aste e i nodi. Otteniamo 9 aste e 6 nodi.



Le coordinate dei nodi sono:

Nodo	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	500	0
3	1000	0
4	333,33	-200
5	666,66	-200
6	500	-300

I vincoli esterni sono ai nodi 1 e 3, con la traslazioni lungo X e Y impedito e le rotazioni libere.

Occorre definire una sola forma di carico di tipo permanente (PERM) e una sola combinazione di carico:

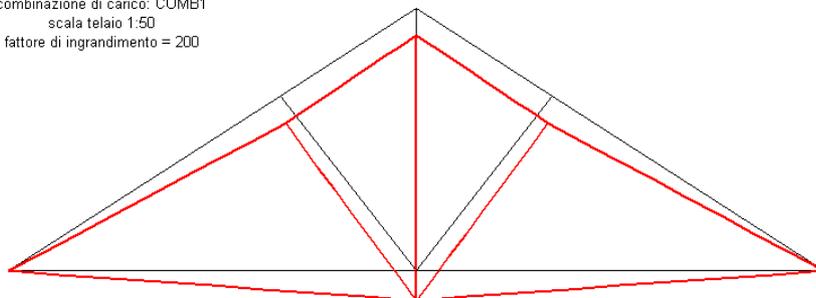
$$\text{COMB1} = \text{PERM} (1,0)$$

Si fa osservare che se il calcolo fosse fatto secondo la nuova normativa agli SLU il moltiplicatore da sarebbe stato pari a 1,3.

I coefficienti beta per la verifica a carico di punta si assumono unitari. Si avvia quindi il calcolo.

Di seguito si riporta la deformata sotto carico e uno stralcio del tabulato di calcolo.

DEFORMATA DEL TELAIO
combinazione di carico: COMB1
scala telaio 1:50
fattore di ingrandimento = 200



VERIFICHE DI RESISTENZA

ASTA 1 (materiale: Acciaio)

verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Sig_id_m	Verif?
0	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
62,5	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
125	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
187,5	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
250	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
312,5	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
375	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
437,5	COMB1	-0,27	0	0	0	Si
500	COMB1	-0,27	0	0	0	Si

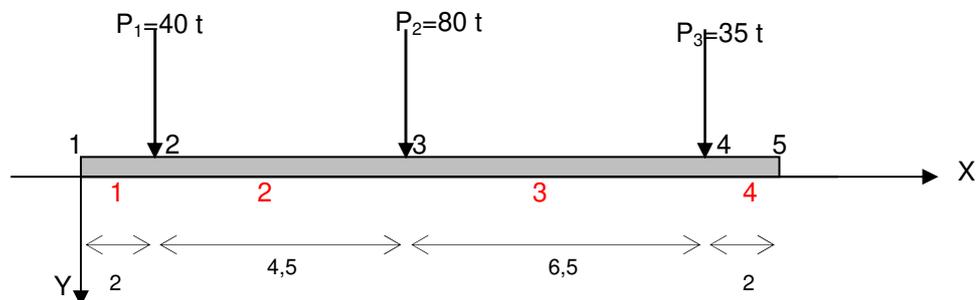
ASTA 2 (materiale: Acciaio)

verifica di resistenza (per ogni combinazione di carico)

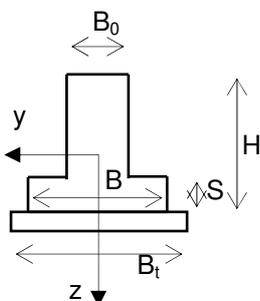
x	Comb.	Nx(x)	Tz(x)	My(x)	Sig_id_m	Verif?
0	COMB1	0,27	0	0	0	Si
62,5	COMB1	0,27	0	0	0	Si
125	COMB1	0,27	0	0	0	Si
187,5	COMB1	0,27	0	0	0	Si
250	COMB1	0,27	0	0	0	Si
312,5	COMB1	0,27	0	0	0	Si
375	COMB1	0,27	0	0	0	Si
437,5	COMB1	0,27	0	0	0	Si
500	COMB1	0,27	0	0	0	Si

ESEMPIO 8 – TRAVE DI FONDAZIONE SU SUOLO ELASTICO

Progettare, con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 14/02/1992), la seguente trave di fondazione in cemento armato:



Il suolo è omogeneo ed ha costante di sottofondo (costante di Winkler) $k_w=10 \text{ kg/cm}^3$. Per i materiali si adotta calcestruzzo con $R_{ck}=250 \text{ kg/cm}^2$ (peso specifico 2.500 kg/m^3) e acciaio Fe B 38 k. Si assegna la seguente sezione a T rovescia:



$B=110 \text{ cm}$; $B_t=150 \text{ cm}$ (sottotrave di fondazione)

$H=110 \text{ cm}$

$B_0=40 \text{ cm}$

S=25 cm

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software *Telai.Az* occorre al solito fissare il sistema di riferimento globale XY. Ogni asta è poi interessata da un sistema di riferimento locale xyz avente asse x coincidente con l'asse dell'asta, origine nella sezione di inizio della stessa asta e gli assi y e z coincidenti con gli assi principali di inerzia della sezione geometrica dell'asta.

Attesa la configurazione di carico, la costanza della sezione della trave con X e l'omogeneità del terreno di fondazione si individuano 4 aste (e 5 nodi).

In base al sistema di riferimento assunto si determinano le ascisse X dei nodi:

Nodo	X (cm)
1	0
2	200
3	650
4	1.300
5	1.500

Dal menù **FILE** selezionare *Nuovo calcolo*. Dal menù **DATI GENERALI**:

- inserire il numero delle aste;
- selezionare la voce "Calcolo automatico del peso proprio delle aste";
- non selezionare la voce "Effettua le verifiche di resistenza" e "Verifiche SLE".

Fatto ciò occorre definire le sezioni trasversali presenti nella struttura da assegnare successivamente alle aste. In questo caso si tratta di definire un'unica sezione a T rovescia. Dal menù **SEZIONI** definire la sezione assegnando il nome ad es. SEZ1. Premendo su "Calcola" il software restituisce l'area e i momenti di inerzia della sezione geometrica. Quindi occorre premere su "Salva sez." per inserire la sezione nella lista delle sezioni presenti in progetto.

Dal pannello **MATERIALI>Cemento armato** inserire i parametri che caratterizzano il materiale. In automatico è possibile ottenere, in base alla normativa di riferimento prescelta, i parametri del materiale che servono per le verifiche di resistenza. Dallo stesso pannello **MATERIALI>Terreno di fondazione** si inseriscono i valori delle costanti di sottofondo o di Winkler per ogni asta. In questo caso, essendo il valore lo stesso per le quattro aste, si può premere il tasto "Carica tutti".

Dal menù **GOMETRIA** inserire le coordinate X dei nodi e i seguenti dati:

Asta	Sezione
1	SEZ1
2	SEZ1
3	SEZ1
4	SEZ1

A questo punto è opportuno visualizzare, al fine di verificare se l'input geometrico è stato corretto, lo schema della trave di fondazione con i riferimenti delle aste e dei nodi scegliendo *Telaio (con riferimenti)* dal menù VISUALIZZA.

Dal pannello **FORME DI CARICO** definire una forma di carico:

- 1) PERM (permanente)

Tale forma di carico sarà oggetto dell'unica combinazione di carico che verrà creata.

Nel menù **CARICHI>Carichi nodali** inserire le forze nodali:

Nodo	Forza nodale e Forma di carico a cui appartiene
1	-
2	PERM $F_y=40.000$ $C_z=0$
3	PERM $F_y=80.000$ $C_z=0$
4	PERM $F_y=35.000$ $C_z=0$
5	-

Le aste non sono interessate da carichi distribuiti (il peso proprio della trave viene calcolato in automatico dal software).

Dal pannello **COMB. CARICO** si definisce l'unica combinazione di carico da assumere nel calcolo:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,0)

Dal menù **IMPOSTAZIONI** spuntare la voce *"E' presente sottotrave con larghezza maggiore della larghezza della fondazione"* e inserire il valore 20 cm come sporgenza della sottotrave da ciascun lato. Infine occorre impostare i parametri grafici.

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**.

I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù VISUALIZZA. Nel seguito si riporta uno stralcio del tabulato di calcolo:

OUTPUT

DATI ASTE

Asta	L (cm)	A (cmq)	Iy (cm^4)	qPP_z	qPP_x
1	200	6150	6789296,24	1537,5	0
2	450	6150	6789296,24	1537,5	0
3	650	6150	6789296,24	1537,5	0
4	200	6150	6789296,24	1537,5	0

Combinazione di carico: COMB1

CARICHI UNIFORM. DISTRIBUITI SULLE ASTE

Asta	qz	qx
1	1537,5	0
2	1537,5	0
3	1537,5	0
4	1537,5	0

Telai.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 80 di 98
---	----------------------	---------------

CARICHI SUI NODI

Nodo	Fx	Fy	Cz
1	0	0	0
2	0	40000	0
3	0	80000	0
4	0	35000	0
5	0	0	0

STATO DI SPOSTAMENTO E DI SOLLECITAZIONE

ASTA 1 (larghezza base = 150 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kg)	Tz (kg)	My (kg*m)
0	0,0534	0,000159	0	0	0
25	0,0573	0,000159	0	1691,28	208,3
50	0,0613	0,000159	0	3531,86	858,08
75	0,0653	0,000157	0	5521,07	1986,62
100	0,0691	0,000153	0	7657,2	3630,87
125	0,0729	0,000147	0	9936,84	5827,18
150	0,0765	0,000138	0	12354,25	8610,77
175	0,0798	0,000125	0	14900,68	12015,07
200	0,0827	0,000107	0	17563,61	16070,83

ASTA 2 (larghezza base = 150 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kg)	Tz (kg)	My (kg*m)
200	0,0827	0,000107	0	-22436,39	16070,83
256,25	0,0877	0,000076	0	-16102,77	5212,04
312,5	0,0918	0,000073	0	-9395,82	-1975,56
368,75	0,0961	0,000084	0	-2337,88	-5292,9
425	0,1013	0,0001	0	5121,24	-4530,57
481,25	0,1072	0,000106	0	13049,41	556,69
537,5	0,1129	0,000092	0	21474,07	10243,74
593,75	0,1168	0,000042	0	30320,63	24795,17
650	0,1167	-0,000057	0	39347,03	44389,64

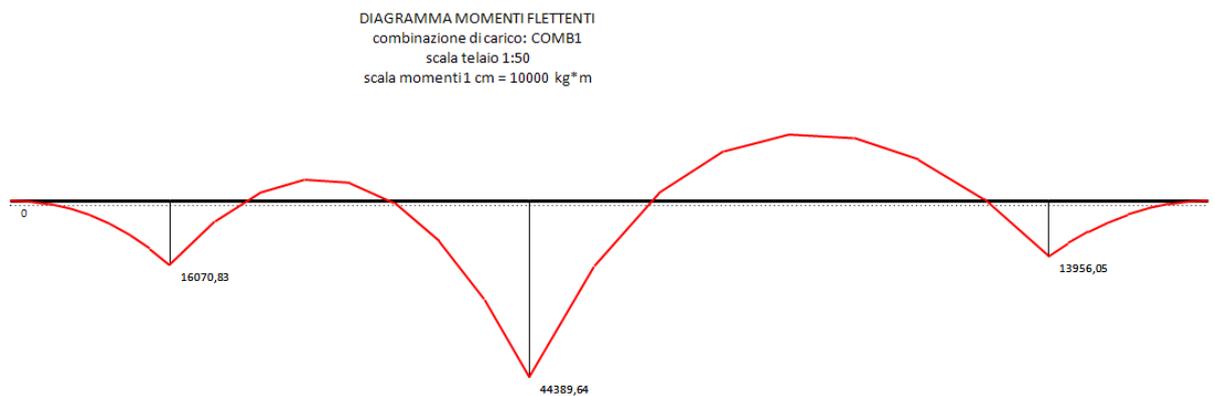
ASTA 3 (larghezza base = 150 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kg)	Tz (kg)	My (kg*m)
650	0,1167	-0,000057	0	-40652,97	44389,64
731,25	0,1062	-0,000182	0	-28220,37	16497,94
812,5	0,0897	-0,000209	0	-17509,33	-1943,36
893,75	0,0738	-0,000177	0	-8822,83	-12508,41
975	0,0619	-0,000113	0	-1860,03	-16750,02
1056,25	0,0556	-0,000043	0	3988,11	-15833,43
1137,5	0,0545	0,000014	0	9399,86	-10386,31
1218,75	0,0569	0,000038	0	14921,01	-526,16
1300	0,0594	0,000012	0	20778,72	13956,05

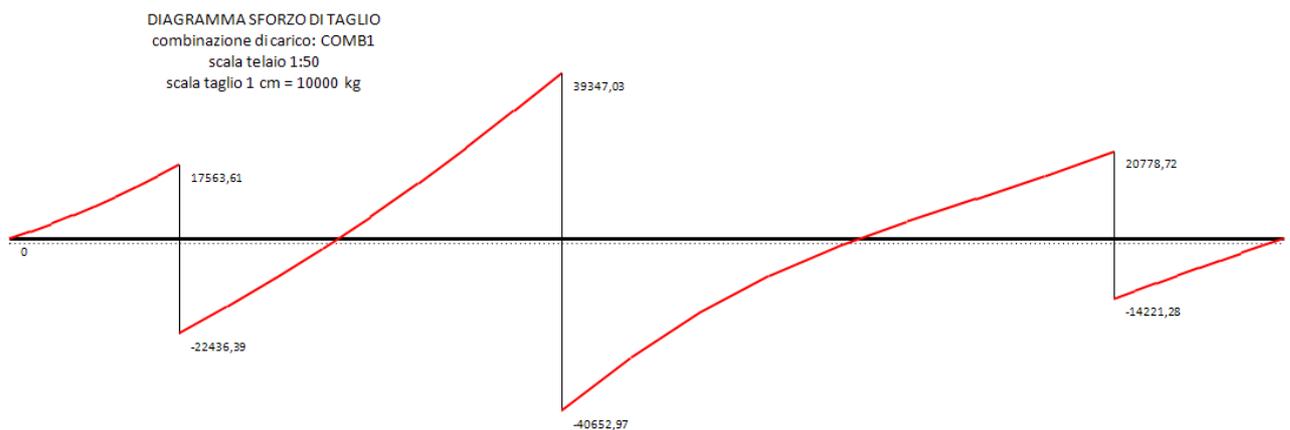
ASTA 4 (larghezza base = 150 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kg)	Tz (kg)	My (kg*m)
1300	0,0594	0,000012	0	-14221,28	13956,05
1325	0,0594	-0,000004	0	-12376,99	10631,2
1350	0,0592	-0,000016	0	-10536,32	7767,24
1375	0,0587	-0,000024	0	-8710,41	5361,8
1400	0,058	-0,00003	0	-6907,23	3410,13
1425	0,0572	-0,000033	0	-5132,11	1905,84
1450	0,0563	-0,000035	0	-3388,25	841,47
1475	0,0554	-0,000036	0	-1677,34	208,97
1500	0,0545	-0,000036	0	0	0

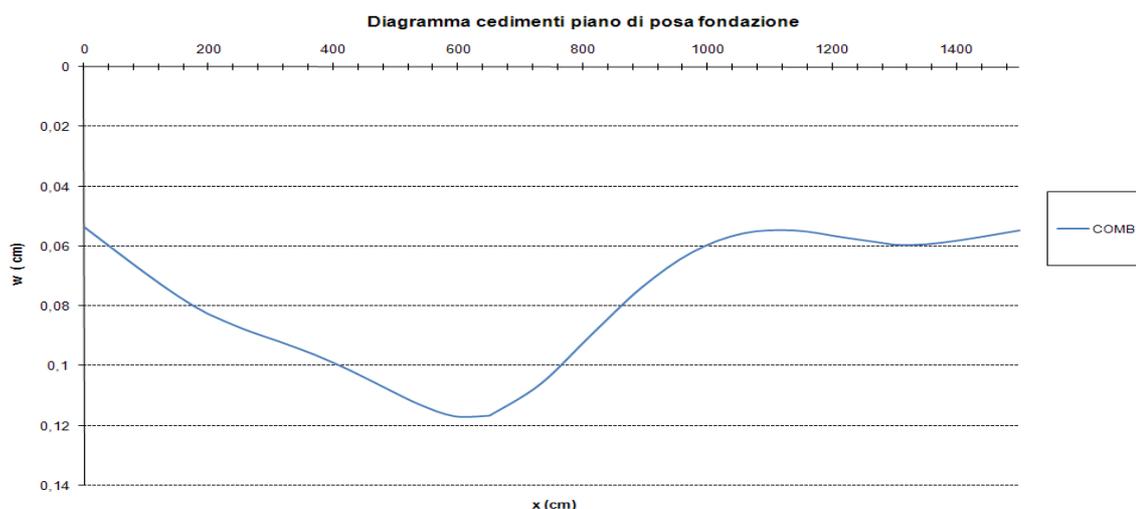
il diagramma dei momenti flettenti:



il diagramma dello sforzo di taglio:

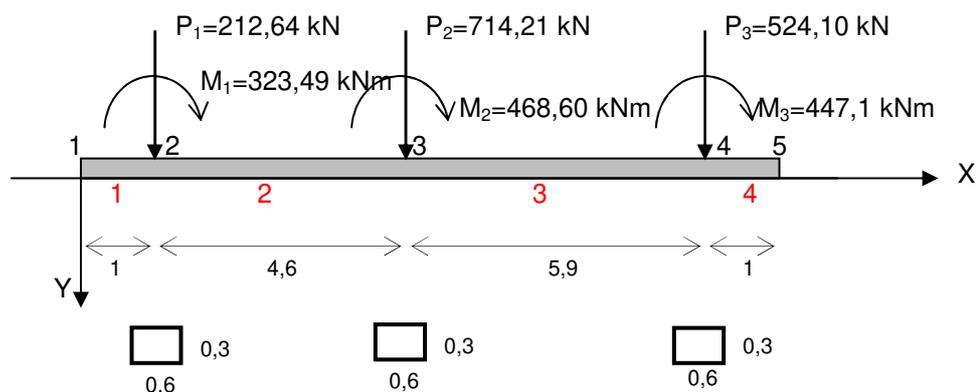


e il diagramma dei cedimenti

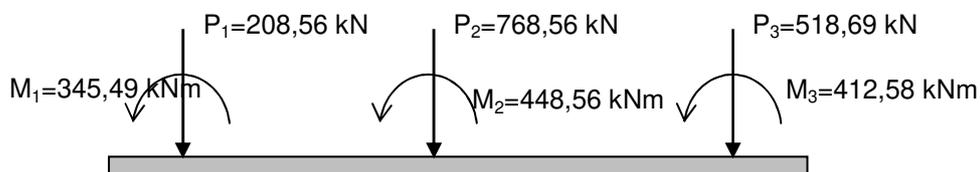


ESEMPIO 9 - TRAVE DI FONDAZIONE SU SUOLO ELASTICO

Progettare, con il metodo agli Stati Limite (D.M. 14/01/2008), la seguente trave di fondazione in cemento armato, soggetta alle seguenti due combinazioni di carico
Combinazione 1



Combinazione 2



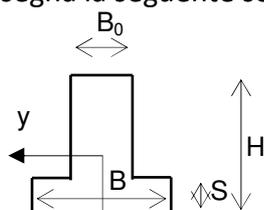
Le due combinazioni di carico si riferiscono alla condizione di sisma proveniente da sinistra e di sisma proveniente da destra¹¹). I carichi concentrati verticali

¹¹ In genere le combinazioni di carico che si considerano per la sovrastruttura sono più di due; ci sono quelle di tipo *Fondamentale*, in cui non è presente l'azione sismica, e le combinazioni sismiche.

corrispondono agli sforzi normali alla base dei pilastri desunti dall'analisi del telaio di sovrastruttura, le coppie corrispondono ai momenti resistenti delle stesse sezioni di base (v. paragrafo 7.2.5 D.M. 14/01/2008) dei pilastri calcolati sulla base delle dimensioni di dette sezioni, delle armature presenti, dei materiali impiegati e degli stessi sforzi normali.

Il suolo è omogeneo ed ha costante di sottofondo (costante di Winkler) $k_w=50 \text{ N/cm}^3$. Per i materiali si adotta calcestruzzo con $R_{ck}=25 \text{ N/mm}^2$ (peso specifico 25 kN/m^3) e acciaio B450C.

Si assegna la seguente sezione a T rovescia (SEZ1):



$$B=100 \text{ cm}^z$$

$$H=100 \text{ cm}$$

$$B_0=50 \text{ cm}$$

$$S=30 \text{ cm}$$

Analisi con Telai.Az

Per il calcolo con il software Telai.Az occorre fissare il sistema di riferimento globale XY.

Attesa la configurazione di carico, la costanza della sezione della trave con X e l'omogeneità del terreno di fondazione si ottengono 4 aste (e 5 nodi).

In base al sistema di riferimento assunto si determinano le ascisse x dei nodi:

Nodo	X (cm)
1	0
2	100
3	560
4	1.150
5	1.250

Si procede con l'input dei dati come per l'esempio precedente. Dal menù **DATI GENERALI**:

- inserire il numero delle aste;
- selezionare la voce "Calcolo automatico del peso proprio delle aste";
- selezionare la voce "Effettua le verifiche di resistenza".

Dal pannello **GEOMETRIA** inserire le coordinate dei nodi e i dati di cui alla seguente tabella

Asta	Sezione
1	SEZ1
2	SEZ1
3	SEZ1
4	SEZ1

Dal pannello **FORME DI CARICO** definire due forme di carico:

1)PERM1 (permanente)

2)PERM2 (permanente)

Le forme di carico costituiranno oggetto rispettivamente delle due combinazioni di carico COMB1 e COMB2 da definire successivamente.

Dal pannello **CARICHI>Carichi nodali** inserire i seguenti dati:

Nodo	Forza nodale e Forma di carico a cui appartiene
1	-
2	PERM1 $F_y=212,64$ $C_z=-323,49$ PERM2 $F_y=208,56$ $C_z=345,49$
3	PERM1 $F_y=714,21$ $C_z=-468,60$ PERM2 $F_y=768,56$ $C_z=448,56$
4	PERM1 $F_y=524,10$ $C_z=-447,10$ PERM2 $F_y=518,69$ $C_z=412,58$
5	-

Da notare che per la forma di carico PERM1 si è inserito il segno negativo per i momenti nodali (v. figura) in base alla convenzione sui segni adottata dal software.

Dal pannello **COMB. CARICO** si definiscono le due combinazioni di carico da assumere nel calcolo:

COMB1 = PERM1 (moltiplicatore 1,0)

COMB2 = PERM2 (moltiplicatore 1,0)

Per tenere distinte le combinazioni di carico occorre generare due combinazioni. Si adotta il moltiplicatore 1,0 in luogo di 1,3 (agire sul pannello IMPOSTAZIONI, coeff. parziali sulle azioni), perché i carichi che agiscono in fondazione sono già amplificati (analisi della sovrastruttura).

Dal menù **VERIFICHE** si impostano i seguenti dati:

- calcolo di progetto
- copriferro 2,5 cm;
- interferro 3 cm;
- rapporto armature 0,5;
- diametro tondino da adottare 16 mm;
- diametro staffe verticali 8 mm;
- n° di braccia staffe = 2;
- angolo di inclinazione dei ferri piegati = 45°.

Dal menù **IMPOSTAZIONI** non selezionare la voce "E' presente sottotrave con larghezza maggiore della larghezza della fondazione".

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**.

I risultati possono essere visualizzati per mezzo del menù VISUALIZZA. Nel seguito si riporta uno stralcio del tabulato di calcolo:

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 85 di 98
---	----------------------	---------------

OUTPUT

DATI ASTE

Asta	L (cm)	A (cmq)	ly (cm^4)	qPP_z	qPP_x
1	100	6500	5692628,21	16,25	0
2	460	6500	5692628,21	16,25	0
3	590	6500	5692628,21	16,25	0
4	100	6500	5692628,21	16,25	0

Combinazione di carico: COMB1

CARICHI UNIFORM. DISTRIBUITI SULLE ASTE

Asta	qz	qx
1	16,25	0
2	16,25	0
3	16,25	0
4	16,25	0

CARICHI SUI NODI

Nodo	Fx	Fy	Cz
1	0	0	0
2	0	212,64	-323,49
3	0	714,21	-468,6
4	0	524,1	-447,1
5	0	0	0

STATO DI SPOSTAMENTO E DI SOLLECITAZIONE

ASTA 1 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
0	0,0506	0,000548	0	0	0
12,5	0,0574	0,000548	0	1,34	0,08
25	0,0643	0,000548	0	3,12	0,35
37,5	0,0711	0,000548	0	5,32	0,88
50	0,078	0,000548	0	7,95	1,7
62,5	0,0848	0,000548	0	11	2,88
75	0,0917	0,000547	0	14,49	4,47
87,5	0,0985	0,000547	0	18,4	6,52
100	0,1053	0,000546	0	22,74	9,09

ASTA 2 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
100	0,1053	0,000546	0	-189,9	332,58
157,5	0,1337	0,000447	0	-164,74	230,23
215	0,1574	0,000381	0	-132,15	144,54
272,5	0,1781	0,000342	0	-93,22	79,47
330	0,1971	0,000322	0	-48,6	38,43

Telai.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 86 di 98
---	----------------------	---------------

387,5	0,2153	0,000312	0	1,35	24,59
445	0,2329	0,000301	0	56,45	40,97
502,5	0,2497	0,000279	0	116,51	90,46
560	0,2645	0,000233	0	181,14	175,83

ASTA 3 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
560	0,2645	0,000233	0	-533,07	644,43
633,75	0,273	0,000024	0	-445,48	283,4
707,5	0,2718	-0,000035	0	-356,89	-12,44
781,25	0,2708	0,000026	0	-268,99	-243,21
855	0,2778	0,000176	0	-180,18	-409
928,75	0,2983	0,000387	0	-86,44	-507,78
1002,5	0,3356	0,000627	0	17,89	-533,9
1076,25	0,3906	0,00086	0	139,27	-477,19
1150	0,4613	0,001046	0	283,93	-322,74

ASTA 4 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
1150	0,4613	0,001046	0	-240,17	124,36
1162,5	0,4743	0,001038	0	-212,96	96,03
1175	0,4873	0,001031	0	-184,94	71,15
1187,5	0,5001	0,001027	0	-156,12	49,83
1200	0,5129	0,001023	0	-126,49	32,15
1212,5	0,5257	0,001021	0	-96,06	18,24
1225	0,5385	0,00102	0	-64,84	8,17
1237,5	0,5512	0,00102	0	-32,82	2,06
1250	0,564	0,00102	0	0	0

Combinazione di carico: COMB2

CARICHI UNIFORM. DISTRIBUITI SULLE ASTE

Asta	qz	qx
1	16,25	0
2	16,25	0
3	16,25	0
4	16,25	0

CARICHI SUI NODI

Nodo	Fx	Fy	Cz
1	0	0	0
2	0	208,56	345,49
3	0	768,56	448,56
4	0	518,69	412,58
5	0	0	0

STATO DI SPOSTAMENTO E DI SOLLECITAZIONE

ASTA 1 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
0	0,305	-0,000246	0	0	0
12,5	0,302	-0,000246	0	16,94	1,06
25	0,2989	-0,000246	0	33,68	4,23
37,5	0,2958	-0,000247	0	50,24	9,47
50	0,2927	-0,000248	0	66,6	16,78
62,5	0,2896	-0,000249	0	82,76	26,11
75	0,2865	-0,000252	0	98,73	37,46
87,5	0,2833	-0,000255	0	114,51	50,79
100	0,2801	-0,00026	0	130,08	66,08

ASTA 2 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
100	0,2801	-0,00026	0	-78,48	-279,41
157,5	0,2681	-0,000155	0	-9,16	-304,44
215	0,2623	-0,000048	0	57,6	-290,43
272,5	0,2623	0,000046	0	123,55	-238,35
330	0,2672	0,000116	0	190,22	-148,21
387,5	0,2749	0,000147	0	258,76	-19,24
445	0,283	0,000125	0	329,66	149,82
502,5	0,288	0,000036	0	402,52	360,25
560	0,2856	-0,000135	0	475,87	612,82

ASTA 3 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
560	0,2856	-0,000135	0	-292,69	164,26
633,75	0,2739	-0,000166	0	-201,45	-17,69
707,5	0,2627	-0,000129	0	-114,57	-133,96
781,25	0,2558	-0,000054	0	-31,11	-187,52
855	0,255	0,000032	0	50,89	-180,21
928,75	0,2601	0,000101	0	133,73	-112,25
1002,5	0,2688	0,000125	0	219,21	17,71
1076,25	0,2767	0,000075	0	307,92	211,9
1150	0,2773	-0,000078	0	398,42	472,35

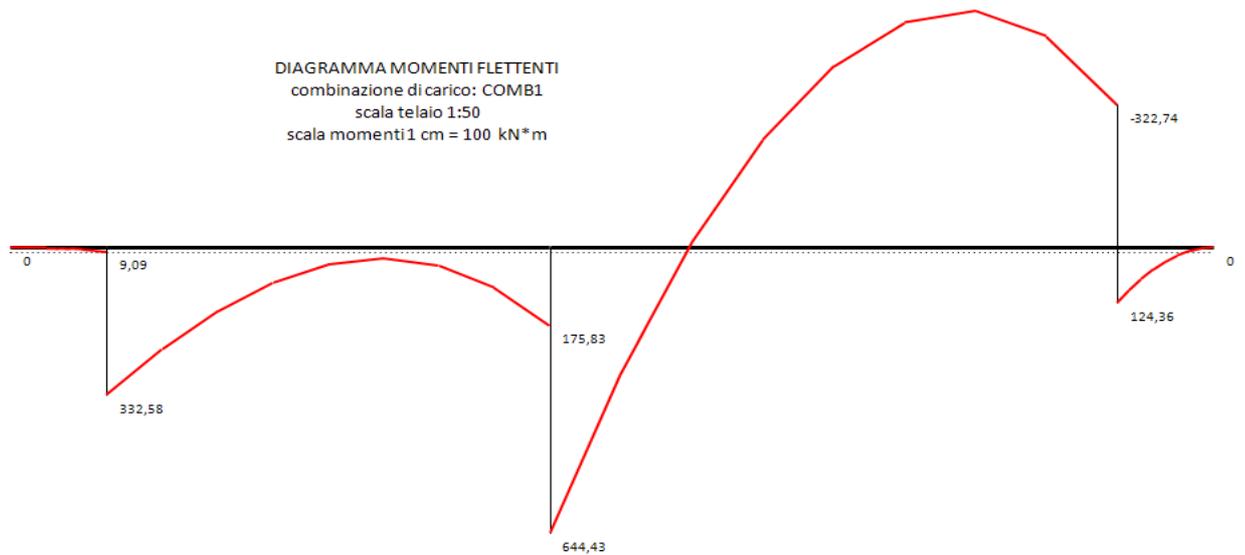
ASTA 4 (larghezza base = 100 cm)

x (cm)	w (cm)	rotaz	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
1150	0,2773	-0,000078	0	-120,27	59,77
1162,5	0,2763	-0,000082	0	-105	45,69
1175	0,2753	-0,000085	0	-89,79	33,52
1187,5	0,2742	-0,000087	0	-74,65	23,24
1200	0,2731	-0,000089	0	-59,58	14,85
1212,5	0,272	-0,00009	0	-44,58	8,34
1225	0,2708	-0,00009	0	-29,65	3,7

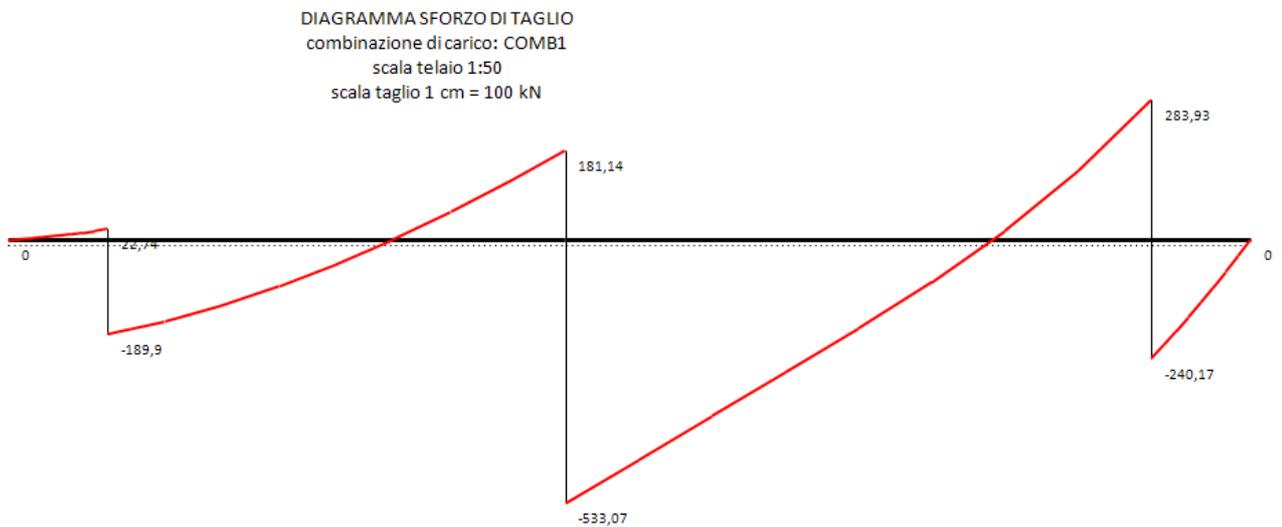
Telai.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 88 di 98
--	----------------------	---------------

1237,5	0,2697	-0,00009	0	-14,79	0,92
1250	0,2686	-0,00009	0	0	0

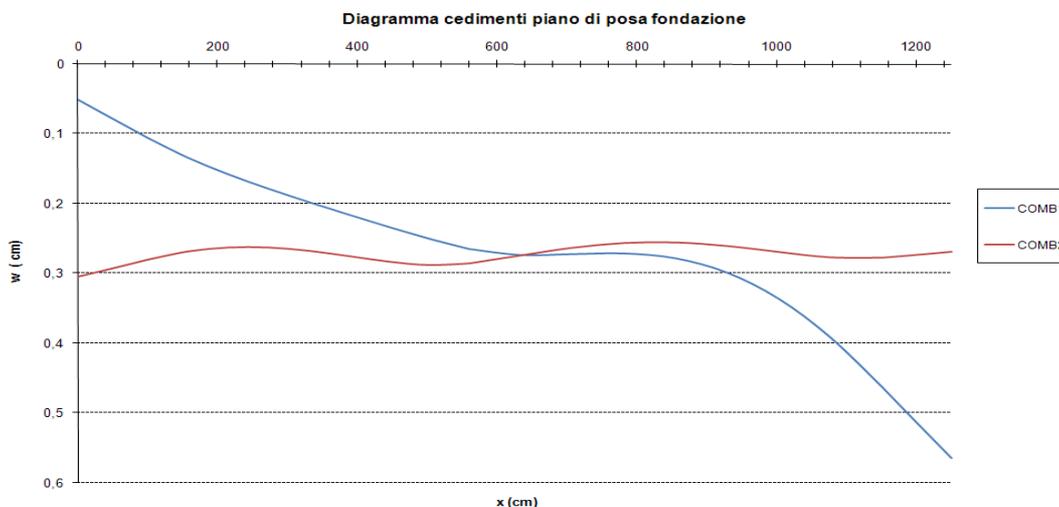
Il diagramma dei momenti flettenti per la combinazione di carico COMB1:



il diagramma dello sforzo di taglio per la combinazione di carico COMB1:

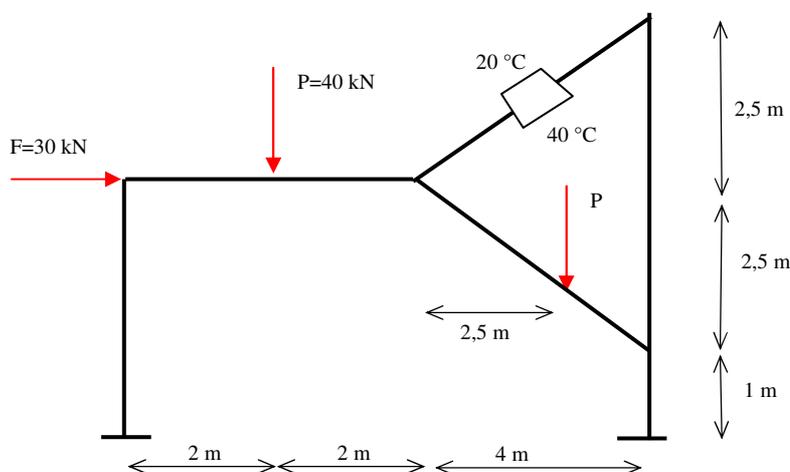


e il diagramma dei cedimenti per entrambe le combinazioni di carico:



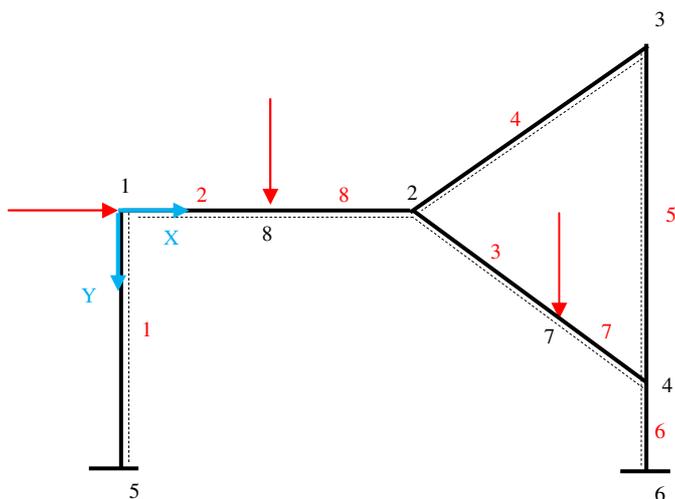
ESEMPIO 10 – CALCOLO TELAIIO PIANO CON CARICO TERMICO

Sia dato il seguente telaio piano speciale in C.A. soggetto ad azioni permanenti e a un carico termico (NTC 2018):



Le aste hanno tutte sezione rettangolare $B=30$ cm, $H=50$ cm. Il coefficiente di dilatazione termica è pari a $\alpha=10 \times 10^{-6}=0,00001$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Il materiale ha $R_{ck}=30$ N/mm^2 con $E_c=31.220$ MPa ($=\text{N}/\text{mm}^2$).

Si numerano i nodi, avendo cura di posizionare un nodo anche in corrispondenza dei punti di applicazione del carico concentrato P , e le aste della struttura come da disegno seguente. Si ottengono 8 nodi e 8 aste. Si fissa il sistema di riferimento globale XY e si determinano le coordinate assolute dei nodi e la matrice di incidenza delle aste. I nodi con vincoli esterni sono il 5 e il 6 in cui sono presenti incastrati perfetti.



Nodo	X (cm)	Y (cm)	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	0	0	No	
2	400	0	No	
3	800	-250	No	
4	800	250	No	
5	0	350	Si	Spostam. lungo X = 0 Spostam. lungo Y = 0 Rotazione attorno a Z = 0
6	800	350	Si	Spostam. lungo X = 0 Spostam. lungo Y = 0 Rotazione attorno a Z = 0
7	650	156,25	No	
8	200	0	No	

Asta	Nodo iniz.	Nodo finale	Sezione	Materiale
1	5 (Incastro)	1 (Incastro)	R30x60	C.A.
2	1 (Incastro)	8 (Incastro)	R30x60	C.A.
3	2 (Incastro)	7 (Incastro)	R30x60	C.A.
4	2 (Incastro)	3 (Incastro)	R30x60	C.A.
5	3 (Incastro)	4 (Incastro)	R30x60	C.A.
6	4 (Incastro)	6 (Incastro)	R30x60	C.A.
7	7 (Incastro)	4 (Incastro)	R30x60	C.A.
8	8 (Incastro)	2 (Incastro)	R30x60	C.A.

Analisi con Telai.Az

A questo punto possiamo procedere ad inserire i dati di input nel software per effettuare l'analisi strutturale. Occorre definire due forme di carico:

- 1) PERM (permanente), a sfavore di sicurezza
- 2) TEMP (temperatura).

Dal menù **CARICHI>Carichi nodali** inserire i carichi nodali P e F di tipo permanente, mentre in **CARICHI>Carichi termici sulle aste** per l'asta 4 inserire $\Delta T_u = +30$ °C e $\Delta T_z = +10$ °C.

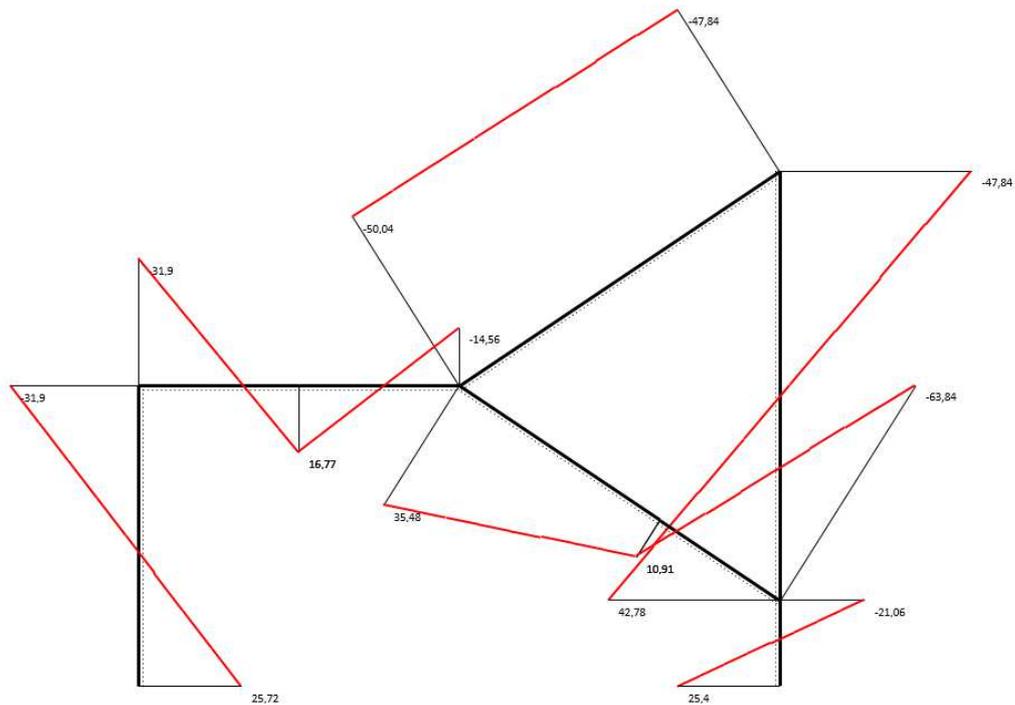
Dal pannello **COMB. CARICO** generare le due combinazioni di carico:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,3) + TEMP (moltiplicatore 0)

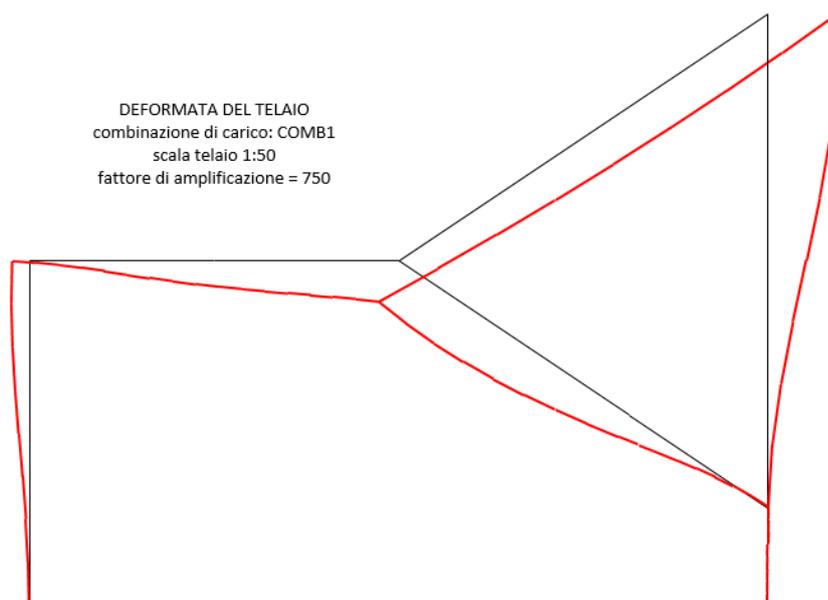
COMB2 = PERM (moltiplicatore 1,3) + TEMP (moltiplicatore 1,5)

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**.

Qui si riporta il diagramma dei momenti flettenti per la combinaz. di carico 2:



e la deformata del telaio:

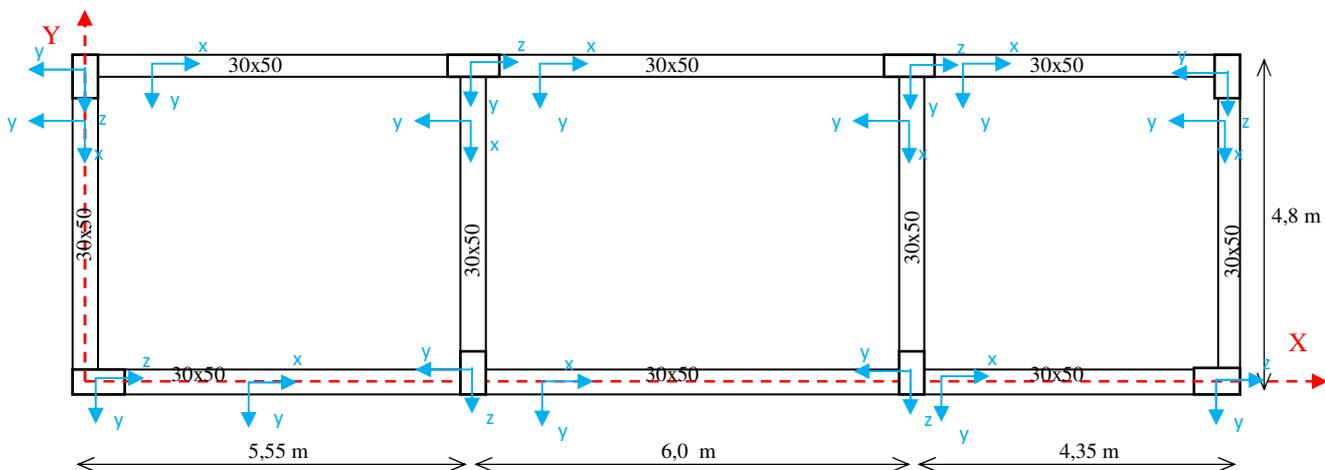


ESEMPIO 11 – CALCOLO TELAIO SPAZIALE (EDIFICIO A TRE PIANI)

Sia dato il seguente edificio in C.A. a tre piani soggetto ad azioni orizzontali (che simulano il sisma) e a carichi verticali. Effettuare l'analisi strutturale e le verifiche di resistenza assumendo come normativa di riferimento le NTC 2018 e un comportamento strutturale non dissipativo.

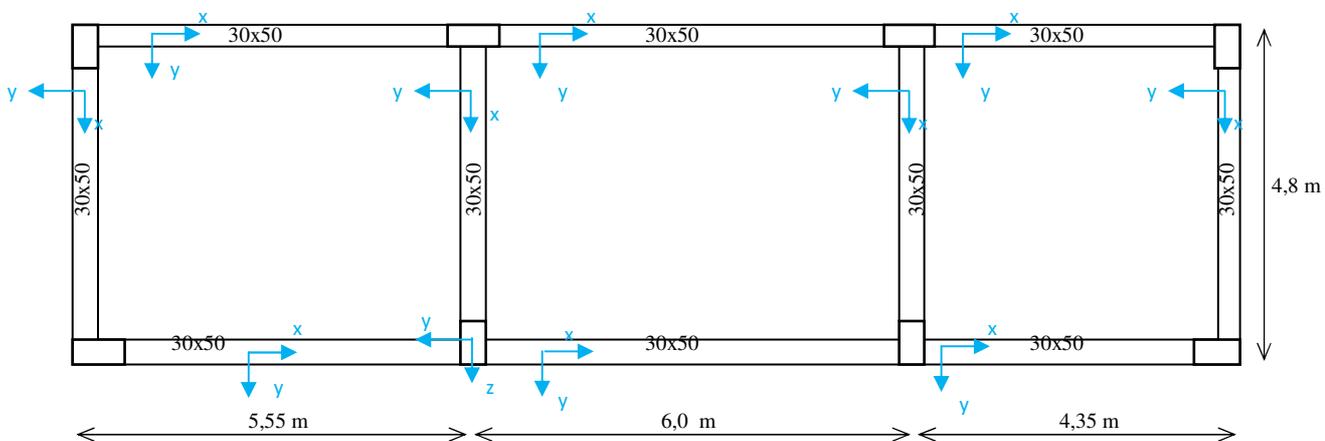
Si fissa il sistema di riferimento globale XYZ destrorso, con il piano XY orizzontale e l'asse Z verticale verso l'alto.

Pianta piano terra: travi rettangolari al primo solaio (Z=450 cm) con B=30 cm e H=50 cm. Pilastri 30x60 orientati secondo X e Y come indicato in pianta



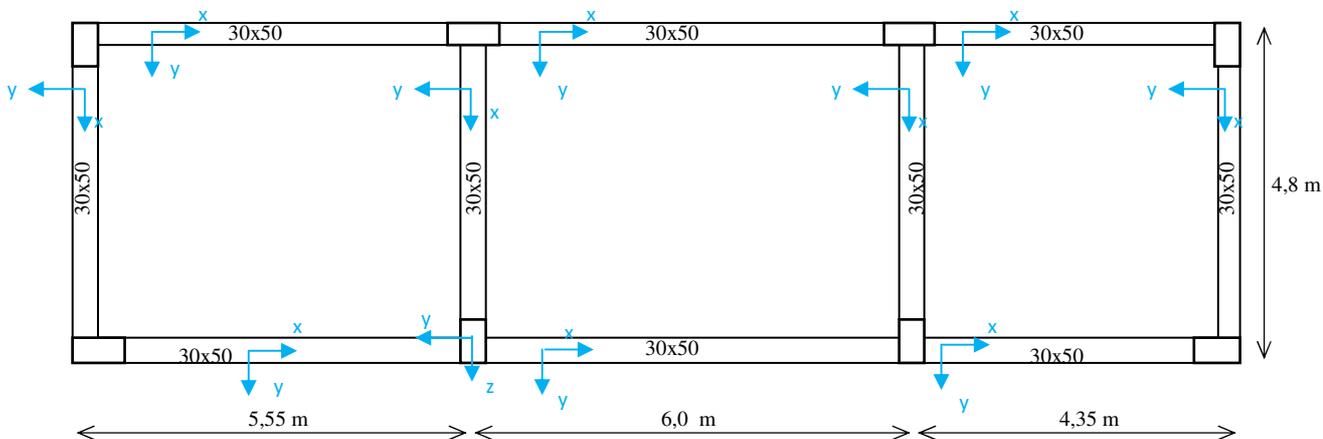
Viene fissato il sistema di riferimento locale (colore celeste) di ogni trave con gli assi locali x e y orizzontali (paralleli al piano globale XY) e l'asse z verticale verso il basso (discorde all'asse globale Z). Il sistema di riferimento locale dei pilastri ha gli assi locali y e z orizzontali (paralleli al piano globale XY), con l'asse y orientato secondo il lato corto del pilastro, e l'asse x verticale verso l'alto (concorde all'asse globale Z).

Pianta piano primo: travi rettangolari al secondo solaio con B=30 cm e H=50 cm. Pilastri 30x55 orientati secondo X e Y come indicato in pianta:



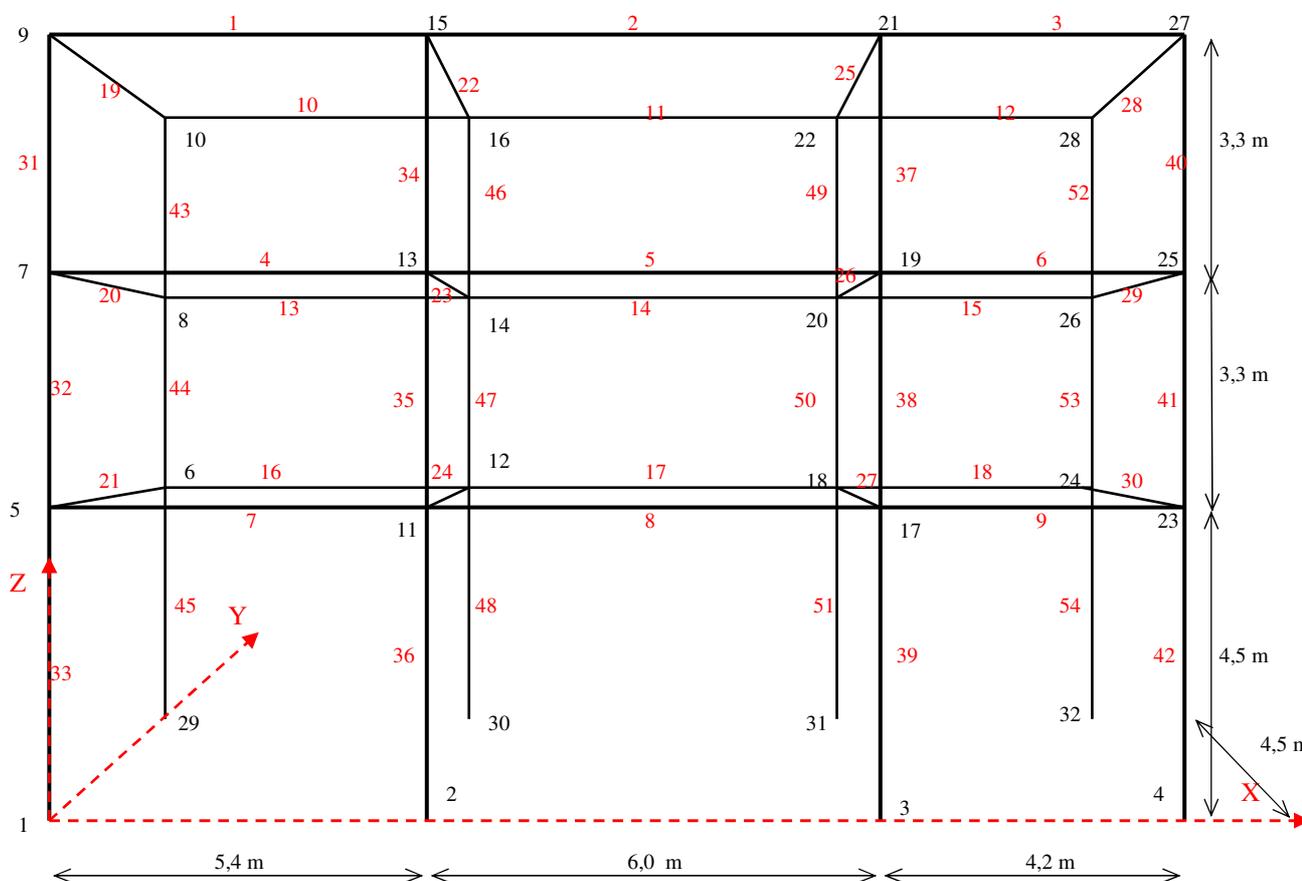
Il sistema di riferimento locale delle travi e dei pilastri si assume come quello del piano terra.

Pianta piano secondo: travi rettangolari al terzo solaio con B=30 cm e H=50 cm.
Pilastri 30x50 orientati secondo X e Y come indicato in pianta:



Il sistema di riferimento locale delle travi e dei pilastri si assume come quello dei piani precedenti.

Lo schema strutturale, in cui sono indicati gli assi delle travi e dei pilastri e i numeri che identificano i nodi e le aste, è il seguente:



I materiali di costruzione sono calcestruzzo $R_{ck}=250 \text{ kg/cm}^2$ e acciaio B450C.

Si vuole tenere conto anche del peso proprio delle aste (spuntare la relativa opzione in DATI GENERALI).

Il telaio è regolare con maglie rettangolari e presenta tre campate lungo X, una campata lungo Y e tre piani. Sono presenti 32 nodi, di cui 8 esterni incastrati alla base, e 54 aste.

In base al sistema di riferimento globale assunto si ricavano le coordinate assolute dei nodi della struttura:

Nodo	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Vincolo esterno?	Movimenti vincolo esterno
1	0	0	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
2	540	0	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
3	1140	0	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
4	1560	0	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
5	0	0	450	No	
6	0	500	450	No	
7	0	0	780	No	
8	0	500	780	No	
9	0	0	1110	No	
10	0	500	1110	No	
11	540	0	450	No	
12	540	500	450	No	
13	540	0	780	No	
14	540	500	780	No	
15	540	0	1110	No	
16	540	500	1110	No	
17	1140	0	450	No	
18	1140	500	450	No	
19	1140	0	780	No	
20	1140	500	780	No	
21	1140	0	1110	No	
22	1140	500	1110	No	
23	1560	0	450	No	
24	1560	500	450	No	
25	1560	0	780	No	
26	1560	500	780	No	
27	1560	0	1110	No	
28	1560	500	1110	No	
29	0	500	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
30	540	500	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
31	1140	500	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0
32	1560	500	0	Si	SX = 0; SY = 0; SZ = 0; RX = 0; RY = 0; RZ = 0

Le travi e pilastri sono tutti a sezione rettangolare. È necessario definire le seguenti tre sezioni di progetto:

R30x60 (B=30 cm, H=60 cm)

R30x55

R30x50

Per le aste si inseriscono nel software i seguenti dati (N.B. per le aste verticali-pilastro occorre inserire come nodo iniziale quello più in basso e nodo finale quello avente Z maggiore):

Asta	Nodo iniz. i	Nodo finale k	Tipo vincolo in i	Tipo vincolo in k	Angolo Teta (°)	Sezione	Materiale	Pilastro/Trave
1	9	15	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
2	15	21	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
3	21	27	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
4	7	13	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
5	13	19	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
6	19	25	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
7	5	11	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
8	11	17	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
9	17	23	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
10	10	16	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
11	16	22	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
12	22	28	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
13	8	14	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
14	14	20	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
15	20	26	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
16	6	12	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
17	12	18	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
18	18	24	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
19	9	10	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
20	7	8	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
21	5	6	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
22	15	16	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
23	13	14	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
24	11	12	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
25	21	22	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
26	19	20	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
27	17	18	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
28	27	28	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
29	25	26	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
30	23	24	Incastro	Incastro	0	R30x50	C.A.	Trave
31	7	9	Incastro	Incastro	90	R30x50	C.A.	Pilastro
32	5	7	Incastro	Incastro	90	R30x55	C.A.	Pilastro
33	1	5	Incastro	Incastro	90	R30x60	C.A.	Pilastro
34	13	15	Incastro	Incastro	180	R30x50	C.A.	Pilastro
35	11	13	Incastro	Incastro	180	R30x55	C.A.	Pilastro
36	2	11	Incastro	Incastro	180	R30x60	C.A.	Pilastro
37	19	21	Incastro	Incastro	180	R30x50	C.A.	Pilastro
38	17	19	Incastro	Incastro	180	R30x55	C.A.	Pilastro
39	3	17	Incastro	Incastro	180	R30x60	C.A.	Pilastro
40	25	27	Incastro	Incastro	90	R30x50	C.A.	Pilastro
41	23	25	Incastro	Incastro	90	R30x55	C.A.	Pilastro
42	4	23	Incastro	Incastro	90	R30x60	C.A.	Pilastro
43	8	10	Incastro	Incastro	180	R30x50	C.A.	Pilastro
44	6	8	Incastro	Incastro	180	R30x55	C.A.	Pilastro
45	29	6	Incastro	Incastro	180	R30x60	C.A.	Pilastro
46	14	16	Incastro	Incastro	90	R30x50	C.A.	Pilastro
47	12	14	Incastro	Incastro	90	R30x55	C.A.	Pilastro

Telai.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 96 di 98
---	----------------------	---------------

48	30	12	Incastro	Incastro	90	R30x60	C.A.	Pilastro
49	20	22	Incastro	Incastro	90	R30x50	C.A.	Pilastro
50	18	20	Incastro	Incastro	90	R30x55	C.A.	Pilastro
51	31	18	Incastro	Incastro	90	R30x60	C.A.	Pilastro
52	26	28	Incastro	Incastro	180	R30x50	C.A.	Pilastro
53	24	26	Incastro	Incastro	180	R30x55	C.A.	Pilastro
54	32	24	Incastro	Incastro	180	R30x60	C.A.	Pilastro

Le azioni sismiche orizzontali (forze statiche equivalenti) sono applicate ai nodi 5, 6, 7, 8, 9 e 10, in direzione +X; i carichi uniformemente ripartiti, in direzione verticale, sono di tipo permanente. Occorre dunque definire due forme di carico:

- 1) PERM (permanente), a sfavore di sicurezza
- 2) SISM (sisma).

Nodo	Carico nodale (e forma di carico a cui appartiene)
5	(SISM) FX = 500 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0
6	(SISM) FX = 500 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0
7	(SISM) FX = 1050 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0
8	(SISM) FX = 1050 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0
9	(SISM) FX = 1650 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0
10	(SISM) FX = 1650 kg FY = 0 FZ = 0 CX = 0 CY = 0 CZ=0

In **CARICHI**>Carichi distribuiti inserire:

Asta	Carico distribuito e forma di carico a cui appartiene
1	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
2	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
3	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
4	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
5	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
6	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
7	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
8	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
9	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
10	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
11	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
12	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.200$ kg/m $m_x=0$
13	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
14	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
15	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
16	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
17	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$
18	(PERM) $q_x=0$ $q_{y,i}=q_{y,f}=0$ $q_{z,i}=q_{z,f}=3.600$ kg/m $m_x=0$

Dal pannello **COMB. CARICO** definire le seguenti due combinazioni di carico:

COMB1 = PERM (moltiplicatore 1,3)

COMB2 = PERM (1,0) + SISM (1,0)

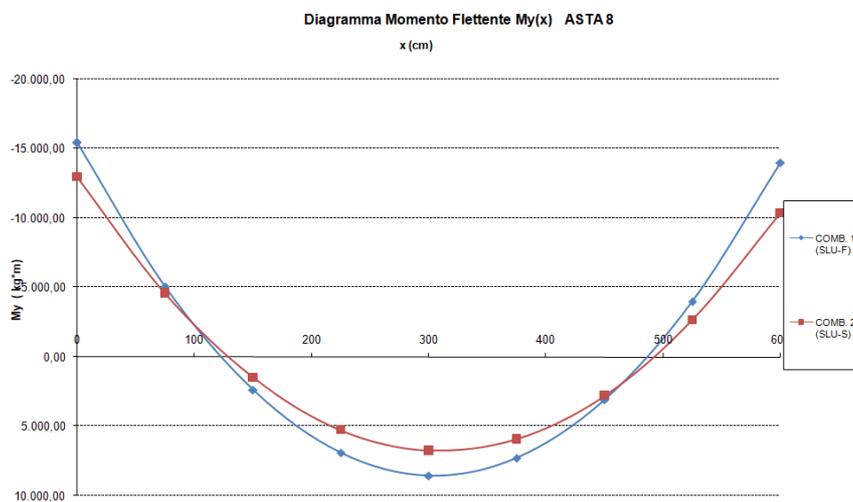
Si assumo, infine, i seguenti dati per il calcolo delle armature:

-Comportamento strutturale dissipativo – Classe duttilità B

- Calcolo di progetto
- diametro dei tondini = 16 mm
- copriferro=2,5 cm
- interferro=3 cm
- distanza massima tra gli assi delle armature longitudinali=30 cm
- rapporto armatura = 0,5
- staffe a 2 braccia di diametro 8 mm

Finita la fase di input si può lanciare il calcolo premendo **CALCOLA**.

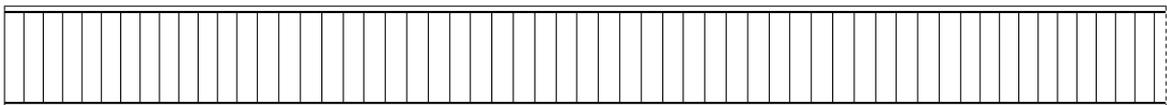
Qui si riporta il diagramma dei momenti flettenti dell'asta 8 e l'esecutivo strutturale della stessa asta.



ASTA 8 (L = 600 cm) - scala 1:20

staffe tratto a: Φ 8/10 staffe tratto b: Φ 8/11 staffe tratto c: Φ 8/10

a = 120 b = 384 c = 96



3 Φ 16 (s) L=600

1 Φ 16 (s) L=116

2 Φ 16 (i) L=600

Telai.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 98 di 98
--	----------------------	---------------

Bibliografia

- [1] Giangreco E. – *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 1 e 3 - Liguori editore, Napoli, 1992
- [2] Polizzotto C. – *Scienza delle costruzioni* – Centro stampa Facoltà di Ingegneria di Palermo (1980)
- [3] Papia M., Zingone G. – *Teroria e tecnica delle strutture* – Facoltà di Ingegneria di Palermo, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (1989)
- [4] La Mendola L. – *Applicazione del metodo degli Elementi Finiti ai sistemi mono e bi-dimensionali* – Quaderni di Tecnica delle Costruzioni Università di Palermo A.A. 1989-90
- [5] Baragetti S. – *Il metodo degli elementi finiti* – Facoltà di Ingegneria Università di Bergamo
- [6] Gugliotta A. – *Elementi finiti* – Dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino (maggio 2002), Otto editore
- [7] D.M. 11/02/1992 – *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [8] D.M. 09/01/1996 – *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [9] Circ. 15/10/1996, n. 252 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9 gennaio 1996*
- [10] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni (NTC)*;
- [11] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*;
- [12] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*
- [13] Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*

Data revisione Manuale d'uso: **Giugno 2022**