

SAP2000

Travi continue

Ver 1.0

Sommario

INTRODUZIONE	4
PARTE I. PRE-PROCESSORE	5
SCelta DELLE UNITÀ DI MISURA	5
ASSI DI RIFERIMENTO: GLOBALI E LOCALI	5
DEFINIZIONE DELLE PROPRIETÀ DEI MATERIALI E GEOMETRIA DELLE SEZIONI	11
PROPERTY DATA	14
ASSEGNAZIONE DELLE SEZIONI AGLI ELEMENTI COMPONENTI DELLA STRUTTURA	15
DEFINIZIONE DEI GRUPPI DI CARICO	17
ASSEGNAZIONE DELLE INTENSITÀ DEI CARICHI	18
ASSEGNAZIONE DEI VINCOLI	24
PARTE II. SOLUZIONE	25
AVVIARE IL RISOLUTORE	25
PARTE III. POST-PROCESSORE	27
VISUALIZZARE LA DEFORMATA	27
VISUALIZZARE LE SOLLECITAZIONI NELLE ASTE	29
STAMPARE I RISULTATI E ALTRE INFORMAZIONI	32
MODIFICARE LA STRUTTURA	36

di m.borriero
bojrair@hotmail.com

Sommario delle figure

<i>Figura 1 - Unità di misura</i>	5
<i>Figura 2 - Assi Globali e assi locali</i>	6
<i>Figura 3 - Model Templates</i>	7
<i>Figura 4 - Modify Grid Lines</i>	8
<i>Figura 5 - Assign Group</i>	10
<i>Figura 6 – Define Materials</i>	11
<i>Figura 7 - Material Property Data - Concrete</i>	11
<i>Figura 8 - Material Property Data- Steel</i>	12
<i>Figura 9 - Define Frame Sections</i>	13
<i>Figura 10 - Rectangular Section</i>	13
<i>Figura 11 - Property Data</i>	14
<i>Figura 12 - Set Elements</i>	15
<i>Figura 13 - Frame release dialog box</i>	16
<i>Figura 14 - Define Static Load Case Name</i>	17
<i>Figura 15 - Point and Uniform Span Loads.</i>	18
<i>Figura 16 – Trapezoidal Span Loads</i>	20
<i>Figura 17 – Carico Trapezoidale</i>	21
<i>Figura 18 - Joint Forces</i>	21
<i>Figura 19 - Ground Displacements</i>	23
<i>Figura 20 - Joint Restraint</i>	24
<i>Figura 21 - Analysis Options</i>	25
<i>Figura 22 - Analysis Complete</i>	26
<i>Figura 23 - Joint Displacement</i>	27
<i>Figura 24 - Deformed shape.</i>	27
<i>Figura 25 - Member Force Diagram for Frames</i>	29
<i>Figura 26 - Moment 3-3 Diagram</i>	30
<i>Figura 27 - Joint Reaction Forces</i>	30
<i>Figura 28 - Print Output Tables</i>	32
<i>Figura 29 - Print Input Tables</i>	34

Premessa

Per ottenere una miglior comprensione del meccanismo che porta a conoscere le sollecitazioni all'interno di una trave continua usando il SAP2000, consiglio di fissare su carta un esempio molto semplice (due campate con un carico continuo) e seguendo le spiegazioni, riportare la struttura dalla carta al video. Lo scopo del tutorial è quello di far rompere il ghiaccio a coloro che non hanno mai usato un programma di calcolo strutturale oppure di dare una guida veloce a chi non è abituato agli strumenti *Visual*.

Introduzione

Il SAP2000 è un programma generico per l'analisi strutturale statica e dinamica, lineare e non lineare ad elementi finiti. E' anche un ottimo strumento per la progettazione di elementi strutturali secondo i codici AASHTO,ACI, AISC e Eurocodice.

L'interfaccia grafica (GUI=graphic user interface) permette di modellare, analizzare e visualizzare la geometria della struttura, le proprietà e l'analisi dei risultati.

La procedura per analizzare una struttura si può dividere principalmente in tre parti:

- Pre-processione (*Preprocessing*)
- Soluzione (*Solving*)
- Post-processione (*Postprocessing*)

PARTE I. Pre-processor

Nella prima parte occorre eseguire le seguenti attività al fine d'inserire le informazioni basilari per costruire il modello della struttura con il SAP2000:

- Scelta delle unità di misura
- Definizione della geometria della struttura
- Definizione delle proprietà dei materiali e geometria delle sezioni
- Assegnazione delle sezioni agli elementi componenti la struttura
- Definizione dei tipo dei carichi
- Assegnazione dell'intensità di carico
- Assegnazione dei vincoli

Scelta delle unità di misura

Dalla Combo Box (menu a discesa) situata nella barra di stato della schermata principale in basso a destra, è possibile scegliere le unità di misura con cui lavorare. Le unità di misura potranno essere cambiate anche durante l'analisi della struttura; questo significa che si potranno visualizzare i risultati secondo le unità più comode, la conversione è automatica. (Se si cambiano le unità a modello completato e si vuole apportare delle modifiche i valori dei nuovi dati devono essere coerenti con le misure attuali. Es: se le campate sono state espresse in cm e poi è stato cambiata l'unità di misura in metri, si dovranno inserire le eventuali modifiche in metri). La combo box permette di scegliere coppie prefissate di unità di misure per Forza e Lunghezza. Usualmente si adotta la coppia di dimensioni KN-m o KN-mm.



Figura 1 - Unità di misura

Assi di riferimento: Globali e Locali

In SAP2000 abbiamo due sistemi di riferimento: quello globale e quello locale. Il sistema globale è un sistema di riferimento composto da una terna cartesiana (X,Y,Z) che segue la regola della mano destra. Al sistema di riferimento globale ci si può riferire con coordinate rettangolari x,y,z. Il sap2000 imposta che l'asse Z sia sempre quello verticale e per default con il verso positivo verso l'alto. Il piano XY è orizzontale. Il peso proprio agisce lungo Z con il segno in base al verso coerente o meno rispetto a quello di Z. (Negativo se Z è verso l'alto oppure positivo se verso il basso).

Ogni elemento strutturale componente il modello ha un proprio sistema di riferimento detto, appunto, locale. Questo sistema risulta comodo per introdurre proprietà geometriche, carichi, vincoli liberandosi dalla definizione degli assi globali. Gli assi locali sono denominati con i nomi 1-2-3. Normalmente questo coincide con quello globale. Nel caso di travi continue questo è vero. Assumeremo di lavorare nel piano X-Z, dove l'asse Z è quello verticale, lungo il quale agisce la

forza di gravità. Per gli elementi monodimensionali, i *Frames*, gli assi vengono ad essere definiti implicitamente. Infatti è naturale assumere uno degli assi come quello che individua lo sviluppo della trave.

Gli altri due assi possono essere scelti arbitrariamente. Per semplicità useremo il sistema di riferimento locale che il SAP2000 propone. La terna locale viene così definita:

- L'asse 1 coincide con l'asse longitudinale dell'asta.
- Il piano 1-2 è verticale, parallelo all'asse Z.
- L'asse 2 è preso con direzione e verso verticali, a meno che questo sia orizzontale e allora è assunto orizzontale parallelo ed equiverso con +X.
- L'asse 3 è orizzontale, è contenuto nel piano X-Y.

Il caso di trave continua è molto semplice. La seguente figura chiarifica le idee. Gli assi globali sono X,Y,Z mentre quelli locali sono 1-2-3 definiti come in figura. La trave si sviluppa in senso di 1 e viene caricata con pesi verticali, nel senso della gravità, lungo Z oppure localmente lungo 2.

(attenzione ai versi.) E' importante capire questo aspetto, in quanto alcuni carichi vengono introdotti riferendosi agli assi globali, mentre le sollecitazioni si leggono lungo quelli locali.

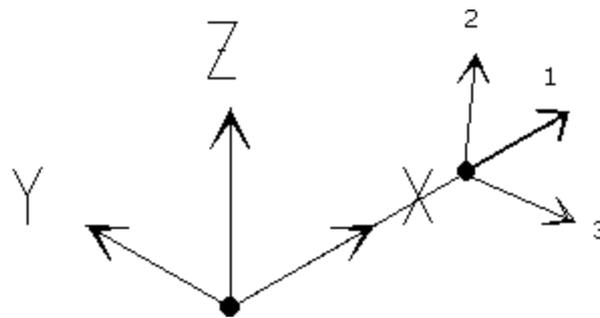


Figura 2 - Assi Globali e assi locali

Il sistema locale così definito prevede che l'asse 3 sia parallelo all'asse neutro di una trave che si sviluppa lungo 1.

Definizione della geometria della struttura

Vi sono due modi per generare la geometria della struttura. La prima consiste nell'usare i *Templates* del SAP2000, la seconda è quella di creare un modello da ex novo. (*from scratch*)

I *templates* sono delle strutture standard già presenti nel sistema, personalizzabili semplicemente con i diversi parametri che il programma richiede. Il vantaggio di questi è sicuramente quello rappresentato dalla velocità con cui si costruiscono i modelli. Tra i vari modelli disponibili, sceglieremo ovviamente il template il più vicino possibile ai nostri intenti e apportare in un secondo tempo le modifiche necessarie per avere il modello desiderato.

- Dal File menù scegliere *New Model from Template...* Comparirà la finestra di dialogo Model Templates.

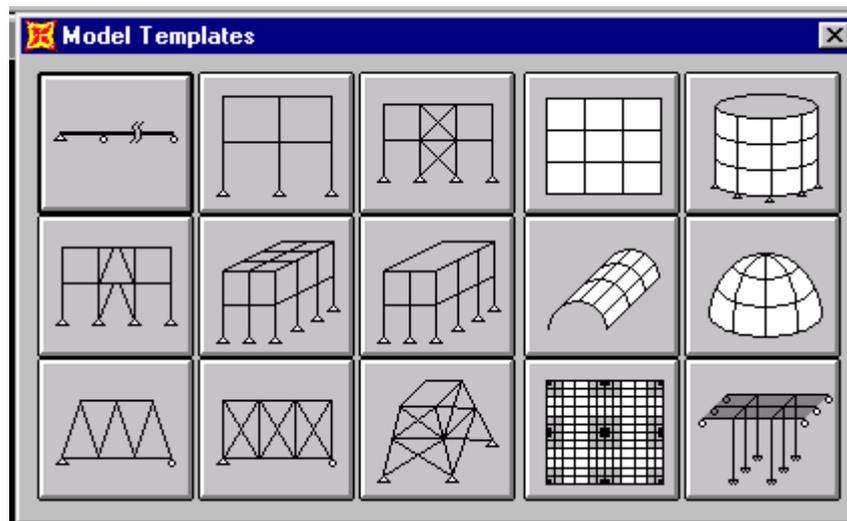


Figura 3 - Model Templates

- Fare click sulla struttura che assomiglia di più al modello che si vuole studiare. Nel caso di travi continue sceglieremo la prima a sinistra.
- Compare una finestra in cui viene chiesto il numero di campate e la relativa luce. Il SAP2000 assegna a tutte le campate la stessa lunghezza. Nella realtà è raro avere campate uguali. Il numero delle campate e le loro effettive misure verranno inserite nella fase successiva.
- Fare click sul pulsante OK.

Lo schermo ora visualizzerà la struttura scelta in due finestre una in 2D e l'altra in 3D. Per passare da una finestra all'altra basta fare un click sulla finestra interessata.

Perché abbiamo usato il template, se ora dobbiamo alterare pesantemente il Template? Il template in realtà ha preparato il SAP2000 per lavorare con una struttura piana e non tridimensionale, anzi con una monodimensionale. (Assi locali, griglia, vista)

Modificare la struttura template

Il modello fin ora ottenuto deve essere modificato, come anticipato, per ottenere la struttura che ci interessa analizzare. Da ora in poi lavoreremo nella finestra in 2D. (si possono cambiare le viste secondo i piani XY e XZ e YZ con i tasti xy xz yz , SAP2000 lavora di default in XZ). Per variare la struttura dovremo avvalerci delle *GRID lines*, le linee grigie che tagliano interamente le finestre. L'idea è quella di creare delle linee "di servizio" che ci aiutino per disegnare la struttura. Tramite le *grids* potremo individuare nel piano i nodi, che saranno localizzati nelle intersezioni di queste e infine mettere le aste tra i nodi generati. Per gestire le *GRID Lines* occorre fare:

- Doppio-click su una *GRID Line*. Compare una finestra di dialogo con tre *Check Box* corrispondenti a X, Y, Z. Selezionare X.



Figura 4 - Modify Grid Lines

In questa finestra occorre selezionare *Lock Grid Lines* (viene bloccata la griglia), *Snap to Grid Lines* (il cursore è attirato come da una calamita alle intersezioni delle Grid Lines), *Glue Joints to Grid Lines* (Incolla i nodi alle grid lines)

L'ultima opzione permette di spostare le *Grid Lines* facendo in modo che i nodi della struttura "seguano" le eventuali modifiche apportate alle grid. Questo significa in pratica di modificare una campata senza dover ridefinire i vincoli a terra e le aste stesse, che altrimenti necessiterebbero di essere definiti nuovamente, poiché localizzati con coordinate non più attuali.

Le campate vengono individuate dalle intersezioni (o meglio dai nodi) delle linee verticali ($X=\text{cost}$) della griglia e dalla linea orizzontale ($Z=0$). Per costruire la maglia corretta occorre inserire le progressive delle campate, riempiendo la List box della finestra *Modify Grid Lines*. Se abbiamo una trave a due campate con luci da 250 e 370 cm, i dati che dobbiamo inserire sono:

Appoggi
X=0
X=2,50
X=6,20

Per inserire i valori possiamo selezionare un valore già presente in tabella (Es: -6), digitare il valore appropriato nella Casella di testo sopra la List Box e premere *Move Grid Line*. Ripetere il procedimento fino a che non si sono inseriti tutti i valori. Se la trave avesse più campate di quelle visualizzate basta inserire il valore progressivo nella casella di testo e premere *Add Grid Line*. In questo modo SAP2000 aggiungerà alla list box la *Grid Line* inserita. Si costruisce così una figura composta da una retta orizzontale tagliata da linee verticali in corrispondenza degli appoggi delle campate.

Per cancellare una *Grid Line* che non serve più basta selezionarla nella List Box e premere *Delete Grid Line*.

Aggiungere i nodi e le aste

Nel caso più generale di una trave a molte campate, dopo avere inserito le *Grid Lines* occorrenti a delimitare le campate, dobbiamo inserire i nodi della Struttura e le aste. I nodi vengono inseriti in corrispondenza delle intersezioni delle linee costituenti la Griglia generata al paragrafo precedente.

Per aggiungere i *nodi* occorre fare:



Click su *Draw Special Joint*, il cursore diviene una freccia rivolta verso l'alto. Portare il cursore sull'intersezione delle *Grid Lines* e cliccare. Sull'intersezione è apparso un punto giallo, ovvero un *nodo*. Ripetere quest'operazione fino a che tutti gli estremi delle campate siano rappresentate da un nodo.

Per aggiungere le *aste* occorre fare:



Per accelerare il lavoro si può usare il pulsante *Draw Quick Frame* che inserisce un'asta e i nodi all'estremità corrispondenti alle intersezioni delle *Grid*.



Nel caso avessimo seguita la prima strada dobbiamo, ora, inserire le aste. Premiamo sul pulsante *Draw Frame*, ottenendo un puntatore a forma di freccia rivolta verso l'alto, lo portiamo sulla *Grid Line* e clicchiamo tra due nodi. Automaticamente viene visualizzata la nuova asta.

Se gli elementi sono troppo piccoli sullo schermo non è possibile inserire le aste correttamente. Ingrandire con lo strumento ZOOM la vista e quindi inserire le aste cliccando tra i due nodi.

Gruppi di elementi

In SAP2000 si ha la possibilità di raccogliere gli elementi, che compongono la struttura, particolarmente significativi in gruppi. Il vantaggio di riunire gli elementi è la comodità che si ottiene nello studio dei risultati dell'analisi e nella gestione delle proprietà degli elementi stessi. Sarà infatti possibile stampare i risultati inerenti a tutti i gruppi creati, ad un solo gruppo oppure a tutti gli elementi indistintamente al gruppo di appartenenza secondo le proprie esigenze. Per creare un gruppo occorre:

- Selezionare le aste e/o i nodi che apparterranno al gruppo
- Dal menu *Assign* scegliere *Group Name*. Compare la finestra di dialogo *Assign Group Dialog Box*.
- E' possibile ora inserire un nuovo gruppo digitando il nome nella casella di testo .
Premere *Add New Group Name*.
- Per editare un gruppo o cancellarlo selezionare il gruppo su cui si vuole intervenire e poi premere rispettivamente i pulsanti *Change Group Name* o *Delete Group Name*

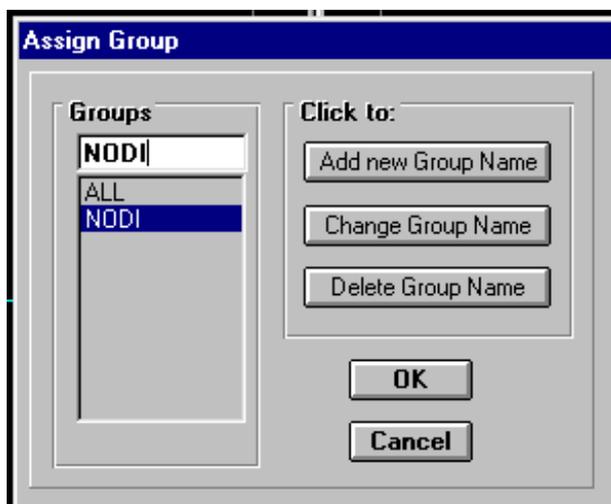


Figura 5 - Assign Group

Definizione delle proprietà dei materiali e geometria delle sezioni

Materiali

In questa sezione definiremo le proprietà dei materiali e la geometria delle sezioni che sono presenti nella struttura. Per ottenere questo dobbiamo fare:

- Dal *Define* menu scegliere *Materials...* questo farà comparire la finestra di dialogo *Define Materials*



Figura 6 – Define Materials

Se i materiali che usiamo sono calcestruzzo e acciaio possiamo avvalerci della libreria già presente in SAP2000. Selezionando CONC (Concrete, Calcestruzzo) e premendo il pulsante *Modify/Show Material* possiamo variare le proprietà del calcestruzzo.

La finestra si divide in due parti, noi ci occupiamo per l'analisi del modello di quella di sinistra e non quella di destra che invece serve per la definizione di parametri per la progettazione delle armature. (questa parte verrà presa in esame in un secondo tempo)

Material Property Data	
Material Name	CONC
Design Type	Concrete
Analysis Property Data	
Mass per unit Volume	2.4007
Weight per unit Volume	23.5616
Modulus of elasticity	24821130
Poisson's ratio	0.2
Coeff of thermal expansion	9.900E-06
Design Property Data	
Reinforcing yield stress, fy	413685
Concrete strength, fc	27579
Shear steel yield stress, fys	275790
Concrete shear strength, fcs	27579

Figura 7 - Material Property Data - Concrete

Material property data. le voci corrispondono a :

Mass per unit Volume	Massa per unità di Volume	2.4007 KN/m ³
Weight per unit Volume	Peso per unità di Volume	23.5616 KN/m ³
Modulus of elasticity	Modulo di Young	24821130 KN/m ²
Poisson's ratio	Coefficiente di Poisson	0.2
Coeff of Thermal expansion	Coefficiente termico	9.900E-06

In genere questi valori, vanno bene, l'unico soggetto a variazione è il modulo elastico che dipende dal calcestruzzo in fase di progetto (R_{ck}). E' importante che il modulo elastico sia coerente con quello di progetto per avere una valutazione attendibile delle deformazioni che la struttura va incontro una volta caricata. Se la trave fosse stata di acciaio avremmo scelto *Steel* nella finestra *Define Materials* e avremmo ottenuto la seguente schermata :

Figura 8 - Material Property Data- Steel

Il tipo di dati proposti hanno lo stesso significato di quello già esposto.

Nel caso si volesse utilizzare un materiale non presente nel sistema, se ne può introdurre quanti se ne vogliono con le caratteristiche desiderate premendo OTHER nella finestra Define Material. (Es: il legno, fibra di carbonio....).

Geometria delle sezioni

Per inserire la sezione della nostra trave occorre fare :

- Dal *Define* menu scegliere *Frame Sections...* apparirà la finestra di dialogo *Define Frame Sections*

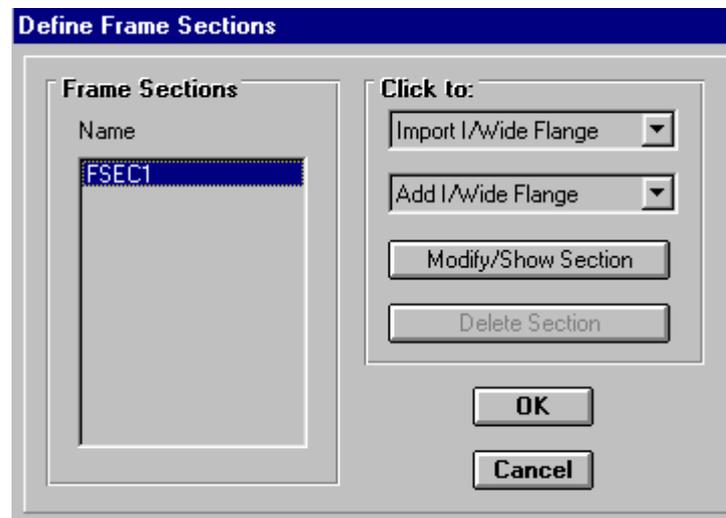


Figura 9 - Define Frame Sections

Selezionare dalla seconda Combo Box (es: *Add I Wide Flange*) *Add Rectangular*, compiuta la selezione appare la seguente finestra:

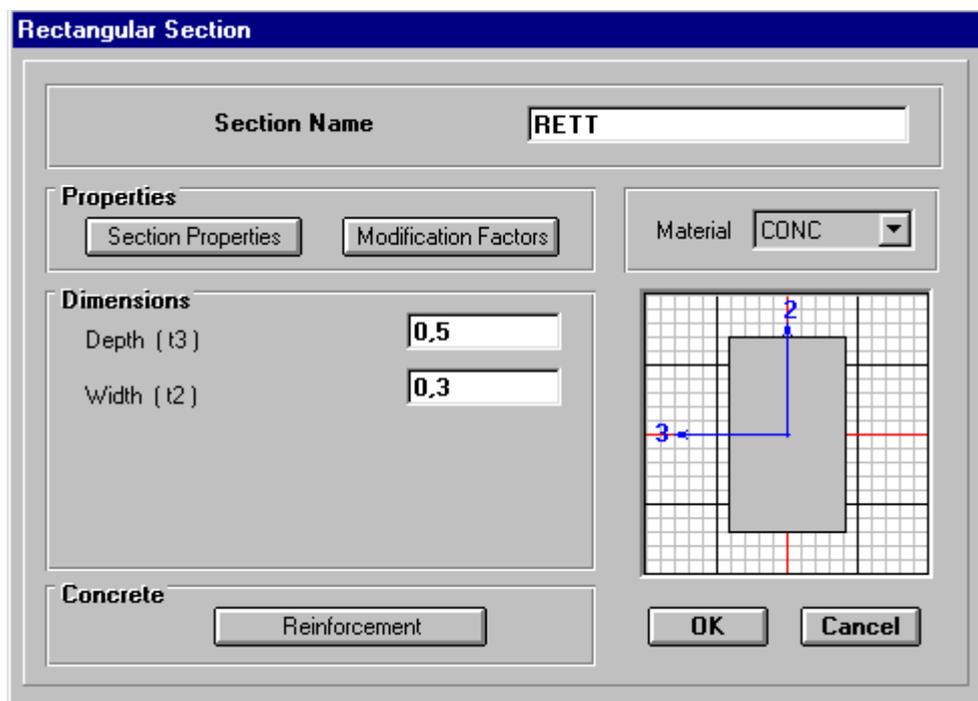


Figura 10 - Rectangular Section

Rinominiamo la sezione da FSEC1 a RETT (per comodità nostra), nella parte relativa alle dimensioni possiamo introdurre i valori degli spigoli della sezione.

In questo caso avendo scelto KN-m inseriamo le dimensioni in metri. La casella di testo DEPTH indica l'altezza della trave, mentre la casella di testo WIDTH indica la base.

Il tasto *Reinforcement* permette di inserire le barre di armatura longitudinali della trave o quelle di un pilastro; per ora trascuriamo questa parte.

Una volta inserite le dimensioni della sezione nelle relative caselle di testo, cliccando su *Section Properties* otteniamo una serie di valori inerenti alla sezione, come si vede nella figura 10.

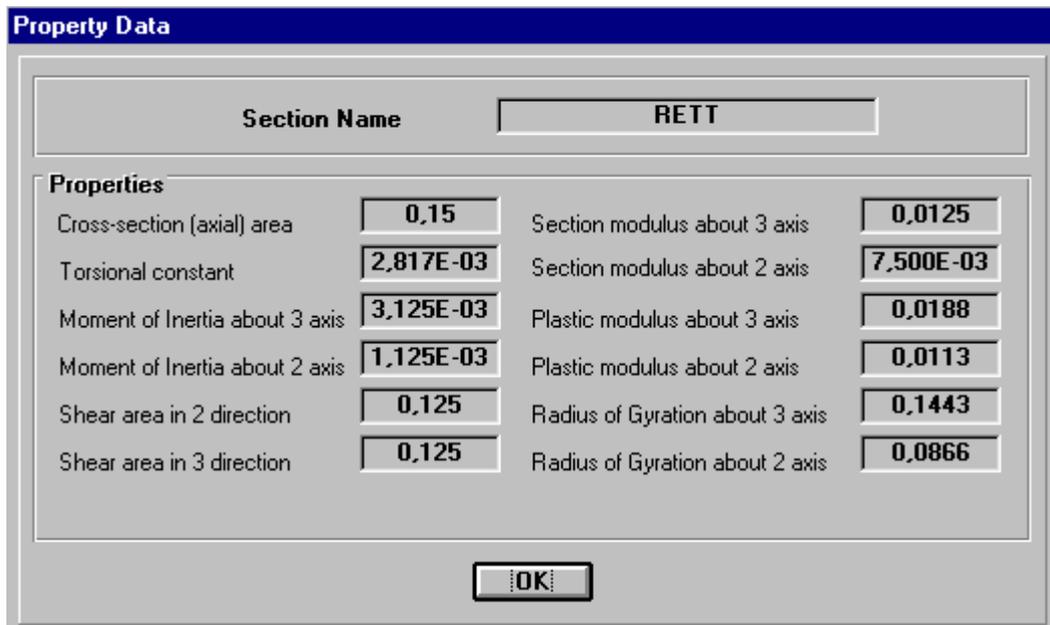


Figura 11 - Property Data

Property Data

Cross- Section Area	Area trasversale	0.15 m ²
Torsional constant	Costante Torsionale	2.817E-0.3
Moment of Inerzia about axis 3	Momento d'inerzia risp. Asse 3	3.125E-03 m ⁴
Moment of Inerzia about axis 2	Momento d'inerzia risp. Asse 2	1.125E-03 m ⁴
Shear Area in direction 2	Area di taglio in direzione 2	0.125 m ²
Shear Area in direction 3	Area di taglio in direzione 3	0.125 m ²
Section Modulus about axis 3	Modulo di rigidezza W risp. Asse3	0,0125
Section Modulus about axis 2	Modulo di rigidezza W risp. Asse 2	7,5E-03
Plastic Mudulus about axis 3	Modulo plastico	0,0188
Plastic Mudulus about axis 2	Modulo plastico	0,0133
Radius of Gyration about axis 3	Raggio giratore d'inerzia	0.1443 m
Radius of Gyration about axis 2	Raggio giratore d'inerzia	0.0866 m

Questa finestra è molto comoda per ottenere dati inerenti alla sezione, che altrimenti dovrebbero essere calcolati a mano.

Assegnazione delle sezioni agli elementi componenti della struttura

Per selezionare gli oggetti vi sono tre modi nel SAP2000.

Il primo consiste nel selezionare un elemento alla volta e applicarne la proprietà desiderata. Per fare questo basta portare il cursore sopra l'elemento scelto e cliccarlo.

La seconda consiste nel disegnare una finestra includendo tutti gli oggetti di cui si vuole assegnare una proprietà comune (sezione, molle, carichi...). Per fare questo basta portare il cursore in un punto opportuno cliccare e tenendo premuto il pulsante premuto disegnare la finestra che comprenda gli oggetti da selezionare. (operazione di drag) La terza è quella di disegnare una linea intersecando gli elementi che ci interessano. Questo si ottiene premendo il

pulsante . Per cancellare la selezione basta premere il pulsante , mentre per selezionare tutto, come nel nostro caso che vogliamo assegnare una sezione costante per tutta la trave premiamo . Il tasto  significa *Previous Selection*, ripristina l'ultima selezione.

Gli elementi selezionati cambiano aspetto. Le aste vengono rappresentate da una linea tratteggiata, mentre i nodi da una croce tratteggiata. Ora che abbiamo selezionato gli elementi che ci interessano possiamo assegnare le sezioni definite prima.

- Dal *Assign* menu scegliere *Frame* e poi *Sections...*. Appare la finestra *Define Sections* (Figura 8) già vista in precedenza.
- Selezionare la sezione desiderata RETT o FSEC1 se si lavora col nome di default.

A ogni elemento della struttura dovremo assegnare la corrispondente sezione.

Se volessimo controllare le proprietà che abbiamo assegnato premiamo il pulsante . Comparirà la finestra di dialogo *Set Elements*

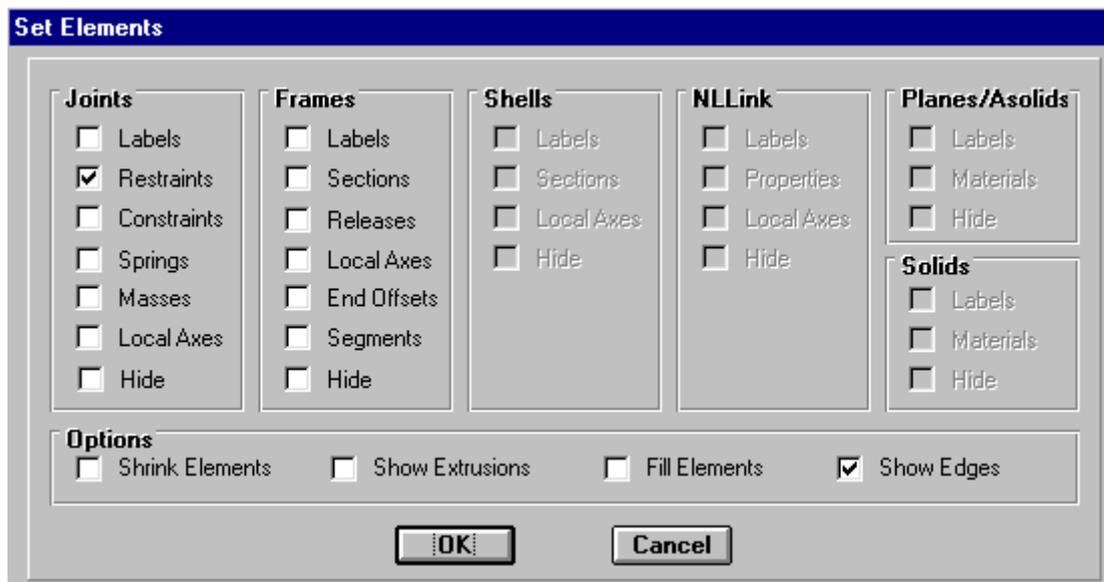


Figura 12 - Set Elements

Per ciascun nodo ed asta possiamo scegliere quali proprietà far visualizzare nella finestra corrente dal programma. Non conviene selezionare molte proprietà, altrimenti otterremo un disegno fitto di scritte e quindi illeggibile.

Le voci hanno questi significati:

Labels	Nomi, etichette dei nodi o delle aste
Restraints	Vincoli a terra
Constraints	Vincoli tipo diaframma, lastra, piastra ecc.
Springs	Molle
Masses	Masse
Local Axes	Assi cartesiani locali
Hide	Nascondi l'elemento
Sections	Sezioni
Releases	In genere sono cerniere. Qualora nel telaio le aste non fossero incastrate.
End Offsets	Il nodo può esser definito rigido per una parte dell'asta.
Segments	Numero di segmenti per i quali il SAP fornirà i valori delle sollecitazioni.
Shrink Elements	Taglia le code degli elementi per una più chiara visualizzazione.

A questo punto è conveniente inserire i *Releases*, qualora la struttura ne prevedesse. (gradi di libertà). Infatti, se al posto di una trave che presenti continuità sugli appoggi e quindi trasmissione di momento flettente, avessimo un telaio con delle aste che risultano essere delle bielle, possiamo inserire una cerniera nel nodo d'intersezione delle due aste. Per fare questo occorre:

- Dal *Assign* menu scegliere *Frame* e poi *Releases...*. Appare la finestra *Frame release dialog box*.

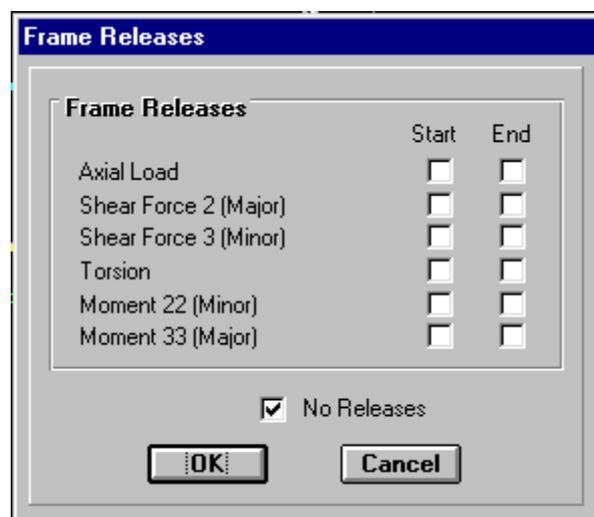


Figura 13 - Frame release dialog box

- In questa finestra si possono selezionare quali vincoli rilasciare in base alle sollecitazioni che causano. Opportune combinazioni di queste permettono di realizzare vincoli quali pattini, manicotti, cerniere etc..

E' da notare che il sistema riferimento delle sollecitazioni è quello locale.

Definizione dei gruppi di carico

Definita la geometria (nodi e aste) occorre inserire le informazioni relative ai carichi. Il SAP2000 ha la possibilità di riunire carichi in gruppi. I gruppi di carico facilitano la gestione dei carichi agenti sulla struttura. Per gestire un gruppo di carico occorre:

- Dal *Define* menù scegliere *Static Load Cases...* Comparirà la finestra di dialogo *Define load case*.



Figura 14 - Define Static Load Case Name

In questa sezione si definiranno e gestiranno i gruppi di carico. Appare come default il gruppo di carico denominato LOAD1, con il tipo selezionato a DEAD, e il moltiplicatore di carico selezionato a 1. Questo carico, definito da SAP2000, è sempre presente o meglio un gruppo di carico è necessario. Lasciando questi parametri inalterati, automaticamente SAP2000 terrà conto del peso proprio della struttura in base ai valori geometrici e il tipo di materiale scelto ai paragrafi precedenti. Se invece si volesse tener conto del peso proprio nei carichi permanenti (che si introducono in altra sede) occorre cambiare il valore del moltiplicatore del gruppo LOAD1 impostandolo a zero. Per fare questo occorre digitare 0 nella casella *Self weight Multiplier* e premere *Change Load*.

E' possibile definire un nuovo gruppo di carico:

- Si imposta il nome del carico e si preme *Add New Load...*
- Se ne sceglie il tipo tra le opzioni che la Combo Box *Type* permette, e queste sono:

DEAD	MORTO – Peso permanente
LIVE	ACCIDENTALE
QUAKE	TERREMOTO
WIND	VENTO
SNOW	NEVE
OTHER	ALTRO

- Normalmente il valore del moltiplicatore del peso proprio negli altri gruppi va annullato, poiché se ne è già tenuto conto nel carico LOAD1. Quindi il valore di *Self Weight* va impostato a zero.

Introdotti I tipi di carico desiderati premere OK. La finestra *Define Static Load Case* si chiude.

Assegnazione delle intensità dei carichi

I carichi applicabili alla struttura sono di diversi tipi a seconda dell'elemento che si carica. I carichi che ci interessano sono quelli assegnabili ai nodi e alle aste.

Il SAP2000 permette, però, di prendere in considerazione molti tipi di carico.

Per le aste sono:

Gravity	Gravità
Temperature	Temperatura
Prestress	Precompressione
Point and uniform	Carichi puntuali e uniformi
Trapezoidal	Trapezoidali (intensità che varia con ascissa)
Pore Pressure	Filtrazione (in base alla versione di SAP)

Mentre per i nodi :

Forces	Forze
Displacements	Cedimenti

Carichi distribuiti lungo le aste.

Carico uniforme.

Per inserire il carico uniforme occorre:

- Selezionare le aste che saranno soggette alla stessa intensità di carico
- Dal menu *Assign* scegliere *Frame Static Loads* e poi *Point and Uniform*. Compare la finestra di dialogo *Point and Uniform Span Loads*.

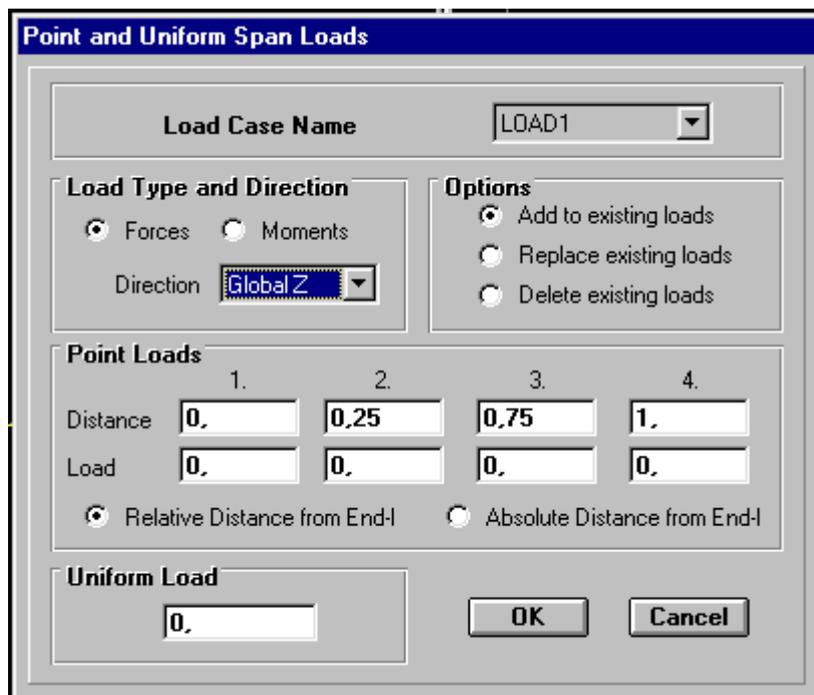


Figura 15 - Point and Uniform Span Loads.

Il carico che noi definiremo in questa finestra di dialogo viene associato al gruppo di carico visualizzato in alto a destra e in questo caso LOAD1. Cliccando sulla Combo Box *Load Case Name*, comunque è possibile scegliere a quale gruppo di carico assegnare il nuovo carico; i casi di carico tra cui si possono scegliere sono solo quelli che sono stati introdotti precedentemente nel paragrafo *Definizione dei gruppi di carico*.

Il primo riquadro a sinistra, *Load Type and Direction*, definisce la natura del carico: se è una forza o una coppia e in quale direzione agisca. Per il caso di una trave in spessore di un solaio, il tipo di carico è la forza e la direzione Global Z. Nell'ultima versione di SAP2000, esiste la possibilità di selezionare GRAVITY, questo permette oltre di indicare la direzione anche il verso della forza.

In questa versione del programma, invece, il verso viene espresso tramite il segno (+ o -) dell'intensità del carico a seconda che la forza sia coerente o meno con il verso di Z. Nel caso sia un carico dovuto a gravità useremo il segno meno (se Z è rivolta verso l'alto).

Il riquadro a destra, *Options*, permette di scegliere come intendiamo assegnare il carico all'asta, cioè se esso viene aggiunto o sostituisce o cancella i carichi già eventualmente già presenti.

Nel dettaglio:

Add to existing loads	Aggiungere il carico che si introduce ora a quelli eventualmente già presenti sulle aste selezionate.
Replace existing loads	Il carico che si introduce ora sostituisce quelli eventualmente già presenti sulle aste selezionate.
Delete existing loads	Senza introdurre alcun parametro e premendo OK si cancellano tutti i carichi presenti sulle aste selezionate.

Nel riquadro, *Uniform Load*, inseriamo il valore numerico che esprime l'intensità del carico, in modo coerente con le dimensioni prescelte. (guardare in basso a destra).

Carichi concentrati distribuiti

Nel riquadro *Point Loads* possiamo inserire carichi concentrati lungo l'asta. Per l'inserimento dei carichi occorre:

- Selezionare le aste che saranno soggette alla stessa intensità di carico
- Scegliere *Relative distances from End -i*, se le distanze che si introducono sono relative, cioè in termini percentuali della lunghezza totale dell'asta. Oppure scegliere *Absolut distances from End -i*, se le distanze sono assolute, cioè riferite all'effettiva posizione preso riferimento il punto iniziale dell'asta.
- Inserire le intensità dei carichi corrispondenti alle posizioni dei carichi.

Esempio: Se volessi introdurre ad un $\frac{1}{4}L$ e a $\frac{3}{4}L$ della trave i carichi $P_1=20$ e $P_2=100$ con verso come la gravità (secondo le unità di misura correnti...) e avessi scelto le coordinate relative, inserirei : per 0,25 il valore 20 e per 0,75 il valore 100. Se le coordinate fossero state assolute avrei inserito, ipotizzando un'asta lunga 600 cm: per 150 il valore 20 e per 450 il valore 100, ottenendo così lo stesso risultato. In tabella leggerei:

0,25	0,75	0	0	150	450	0	0
------	------	---	---	-----	-----	---	---

-20	-100	0	0	-20	-100	0	0
-----	------	---	---	-----	------	---	---

Inseriti i carichi premo OK. La finestra *Point and Uniform Span Loads* si chiude.

Carichi distribuiti ad intensità variabile

Per inserire carichi distribuiti la cui intensità varia lungo l'asse dell'asta (direzione 1) occorre:

- Selezionare le aste che saranno soggette alla stessa intensità di carico
- Dal menu *Assign* scegliere *Frame Static Loads* e poi *Trapezoidal*. Compare la finestra di dialogo *Trapezoidal Span Loads*.

Figura 16 – Trapezoidal Span Loads

I significati dei primi riquadri sono gli stessi di quelli descritti al punto precedente. Focalizziamo la nostra attenzione al riquadro *Trapezoidal Loads*.

Ogni coppia *Distance* – *Load* permette di notificare a SAP2000 la variazione di intensità di carico lungo l'asta, secondo la coppia ascissa -carico. Il significato delle coordinate relative e assolute è identico a quello già esposto per il caso di carichi concentrati distribuiti al punto precedente.

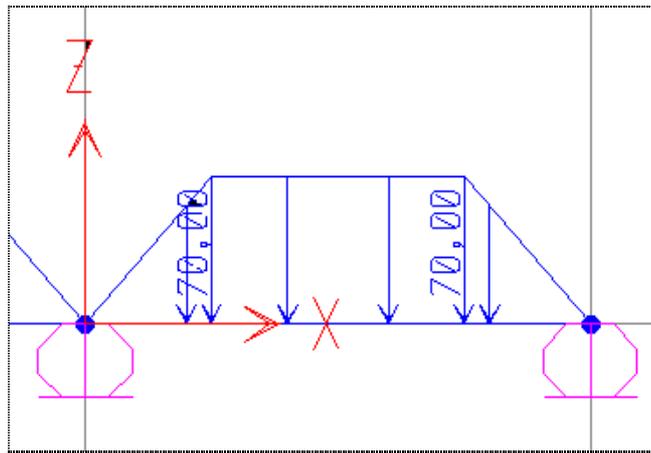


Figura 17 – Carico Trapezoidale

Esempio : Se volessi descrivere il carico con la forma nella figura *Carico Trapezoidale* dovrei inserire i seguenti valori:

0	0,25	0,75	1
0	-70	-70	0

Questa tabella significa che ad ascissa 0 il valore del carico è nullo, ad ascissa $\frac{1}{4}$ il carico vale -70 , ad ascissa $0,75$ il carico vale ancora -70 (quindi rimane costante), e ad ascissa 1 il carico è nullo. Nel caso si fosse scelto la direzione GRAVITY non occorre inserire il segno meno.

Carichi sui nodi.

Ai carichi è possibile assegnare sia cedimenti sia carichi concentrati.

Carichi Concentrati

Per assegnare i carichi sui nodi occorre:

- Selezionare i nodi che saranno soggetti alla stessa intensità di carico
- Dal menu *Assign* scegliere *Joint Static Loads* e poi *Forces...* Compare la finestra di dialogo *Joint Forces* .

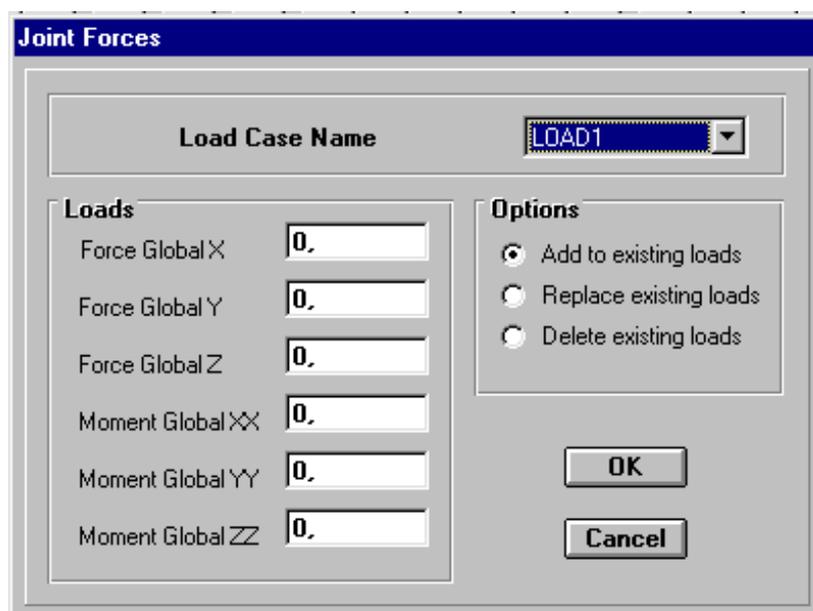


Figura 18 - Joint Forces

I riquadri *Load Case Name* ed *Options* mantengono il significato descritto in precedenza. Nel riquadro *Loads*, possiamo inserire sia le Forze che i Momenti da assegnare ai nodi. Da notare che questi devono essere inseriti rispetto al sistema di riferimento Globale (X,Y,Z). Insieme al valore numerico occorre introdurre anche il segno (+ o -) per indicare il verso della forza. Questo viene espresso rispetto al verso dell'asse Globale.

Dopo aver inserito i valori voluti premere OK. La finestra *Joint Forces* si chiude.

Cedimenti

Per assegnare i cedimenti sui nodi occorre:

- Selezionare i nodi che saranno soggetti alla stessa intensità di carico
- Dal menu *Assign* scegliere *Joint Static Loads* e poi *Displacements...* Compare la finestra di dialogo *Ground Displacements*.

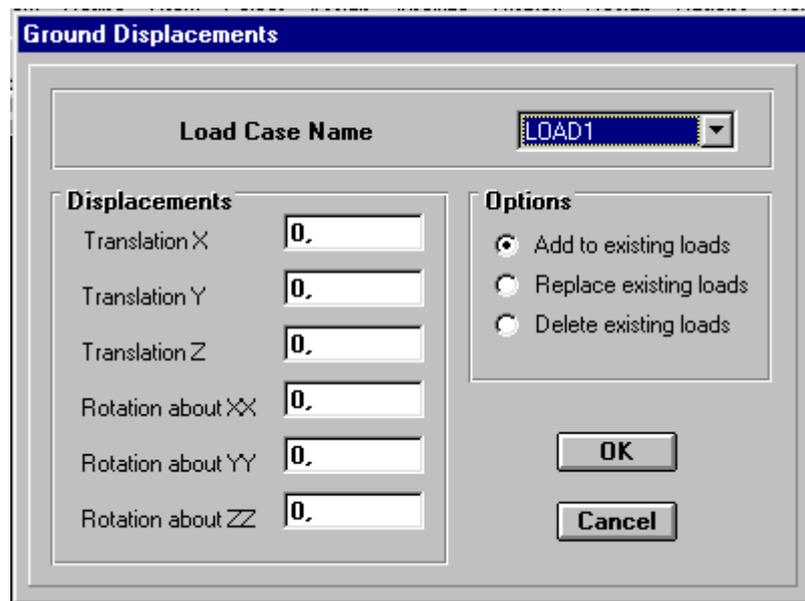


Figura 19 - Ground Displacements

Nel riquadro *Displacements* è possibile introdurre i valori dei cedimenti dei nodi a terra che la struttura deve affrontare. I valori inseriti devono essere coerenti con le unità di misura e tenere conto del verso del cedimento sempre rispetto ai versi degli assi globali.

I cedimenti possono essere di tipo traslatorio lungo X, *Translation X*, oppure rotatorio secondo XX, *Rotation about XX*.ecc...

Assegnazione dei vincoli

Per completare il modello occorre inserire i vincoli a terra. Per fare questo occorre :

- Selezionare tutti i nodi che avranno lo stesso vincolo
- Dal *Assign* menu scegliere *Joint* e poi *Restraints*. Compare la finestra di dialogo *Joint Restraint*

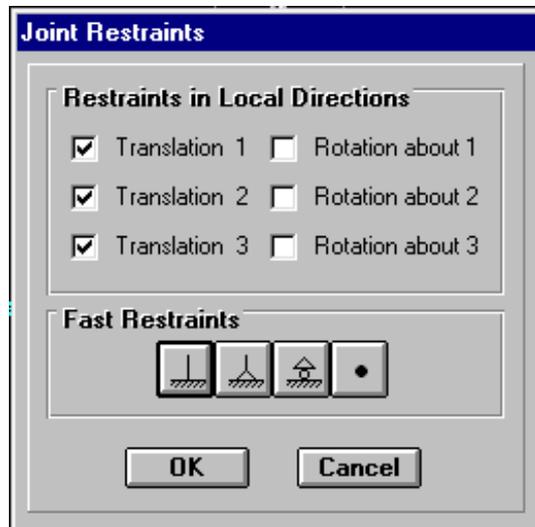


Figura 20 - Joint Restraint

- Scegliere il vincolo a terra appropriato. In caso di trave continua risolta con il SAP2000 occorre avere almeno una cerniera a terra che impedisca alla struttura di traslare. Altrimenti SAP2000 riporta l'errore di labilità non risolta. Il SAP2000 infatti tiene conto anche dell'azione assiale dovuta alla deformata per flessione.
- Il riquadro *Restraints in local directions*, permette di definire i vincoli riferendosi alla terna locale del nodo.
- Per semplicità il SAP2000 propone i Fast Restraints, questi corrispondono a rispettivamente da destra a sinistra a: Incastro, Cerniera, Appoggio, Punto libero. Premendo uno di questi pulsanti impostiamo automaticamente i vincoli nel riquadro superiore. Questo strumento è efficace se abbiamo mantenuto i default proposti.

PARTE II. Soluzione

Avviare il risolutore

In questa parte SAP2000 assembla e risolve il sistema matriciale che si è costruito a partire dai dati che abbiamo introdotto nelle fasi precedenti. Per ottenere la soluzione occorre:

- Dal menu *Analysis* selezionare *Set Options...* Compare la finestra di dialogo *Analysis Options*.

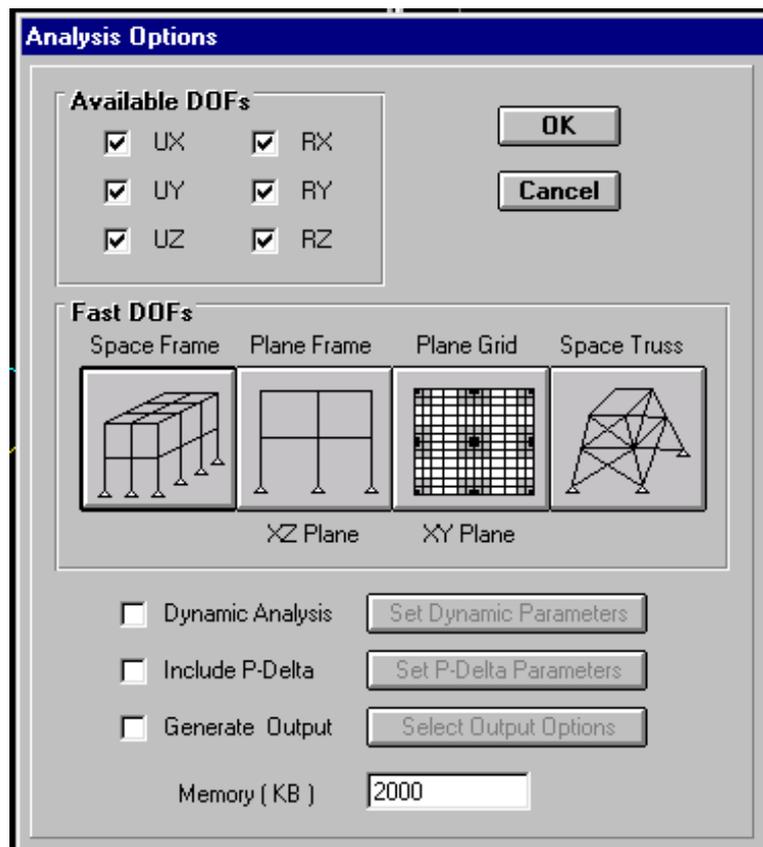


Figura 21 - Analysis Options

- In questa finestra occorre selezionare tutti i *DOF* (degree of freedom) che la struttura ha a disposizione. Nel caso di travi o strutture piane clicchiamo su *Plane Frame*. Scegliendo *Plane Frame* modifichiamo gli *Available DOF* in modo che siano proibite le rotazioni intorno agli assi X e Z e le traslazioni lungo Y, lasciando la rotazione intorno all'asse Y e le traslazioni lungo X e Z. Queste valgono se la struttura è stata realizzata nel piano XZ, e mantenuti tutti i default proposti.
- Cliccare su OK per chiudere la finestra.
- Dal menu *Analysis* selezionare *Run* . Se non si fosse già salvato il modello, comparirà la finestra di dialogo *Save as...* Indicando la directory e il nome del file, si salva su disco le informazioni relative al modello generato e i risultati corrispondenti che si otterranno. Non occorre aggiungere alcuna estensione.

- Cliccare OK. Il processo di soluzione ha inizio. Una finestra simile a quella *Analysis Complete* comparirà mostrando tutte le informazioni relative alle varie fasi del processo. Questa finestra è importante nel momento qualcosa non funzionasse. Infatti SAP2000 riporta la fase in cui ha avuto termine il processo in modo anomalo dando un messaggio di spiegazione, che potrà essere utile per capire il problema e correggere il modello.



Figura 22 - Analysis Complete

- Al termine della soluzione compare il messaggio “ANALYSIS COMPLETE”.

Cliccare il pulsante OK.

PARTE III. Post-processore

Le principali opzioni nella fase di post-processione:

- Visualizzare la deformata
- Visualizzare le sollecitazioni nelle aste
- Stampare i risultati dell'analisi

Visualizzare la deformata

Dopo il completamento dell'analisi, il SAP2000 visualizza nella finestra corrente la deformata della struttura per il gruppo di carico LOAD1 (default). I valori conoscibili della deformata sono quelli in corrispondenza di un nodo. Questo significa che se ci interessa conoscere come si deformano alcuni punti particolari della struttura (mezzera campata), occorre esplicitarli come nodi nella composizione del modello, anche se poi questi punti non avrebbero altro significato.

Nel caso di travi continue possiamo essere interessati alla rotazione delle aste in corrispondenza degli appoggi. Per visualizzare a video i valori clicchiamo col pulsante destro il nodo interessato, questo lampeggerà cambiando colore.

Otteniamo la seguente finestra:

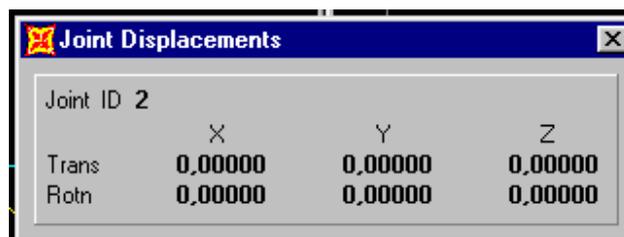


Figura 23 - Joint Displacement

In alto a destra viene riportato il nome del nodo selezionato, mentre in basso vengono visualizzati i dati relativi alle traslazioni e alle rotazioni relative agli assi globali. Per conoscere i dati relativi alla deformata occorre stampare su carta o su file di output di SAP2000. Questo sarà descritto più avanti. Abbiamo la possibilità di visualizzare la deformata corrispondente ad ogni gruppo di carico. Per scegliere i gruppi di carico premiamo il pulsante  facendo comparire la seguente finestra di dialogo *Deformed Shape*.

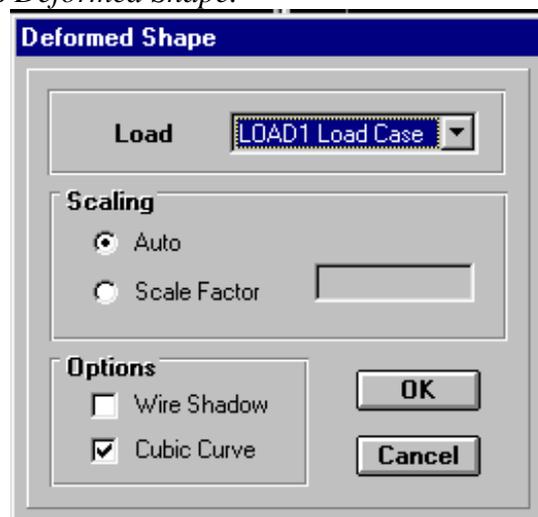


Figura 24 - Deformed shape.

In alto a destra abbiamo l'opzione di scegliere quale carico considerare. Il riquadro denominato *Scaling* permette di definire la scala di rappresentazione della deformata. Solitamente le travi sono soggette a piccole deformazioni, quindi è utile poter amplificare le frecce per evidenziare la conformazione di trave deformata.

Se l'opzione *Auto* non è soddisfacente, si può premere *Scaling Factor* ed introdurre un valore più adatto.

Nel riquadro *Options* possiamo far visualizzare la struttura indeformata scegliendo *Wire shadow*, e far interpolare i punti della deformata con una curva cubica cliccando *Cubic Curve*. Dopo aver selezionato le opzioni premiamo OK. La finestra di dialogo *Deformed Shape*.

Visualizzare le sollecitazioni nelle aste

Per visualizzare le sollecitazioni sulle aste occorre:

- Dal menu *Display* scegliere *Show Element forces/stresses* e poi *Frames...* Compare la finestra di dialogo *Member Force Diagram*.

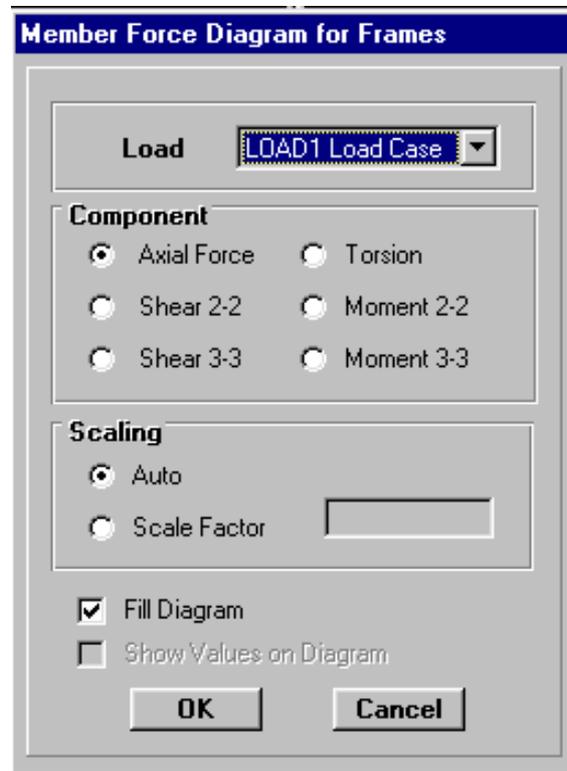


Figura 25 - Member Force Diagram for Frames

Nel primo riquadro scegliamo di quale gruppo di carico intendiamo visualizzare le sollecitazioni. Per default vengono visualizzati i risultati relativi al gruppo LOAD1.

Nel riquadro *Component*, possiamo scegliere quale tipo di sollecitazione visualizzare, Azione Assiale, Taglio secondo gli assi 2-2, Taglio secondo 3-3, Torsione, Momento secondo 2-2, Momento secondo 3-3. Nel caso di trave continua dovremo studiare il Momento secondo 3-3 e il Taglio secondo 2-2.

Momento 3-3 significa che il Vettore Momento è lungo la direzione dell'asse 3. Il riquadro *Scaling* permette di modificare la scala di rappresentazione con cui vengono visualizzati i diagrammi. Le ultime opzioni permettono di rappresentare il diagramma di sollecitazione con le aree sottese delle funzioni di momento e taglio colorate, *Fill Diagram*, oppure di rappresentare il diagramma con i valori più significativi, *Show Values on Diagram*. Le opzioni si escludono a vicenda, quindi per attivare la seconda occorre deselezionare la prima.

Una volta impostate le opzioni desiderate premere OK.

Nella finestra attiva, otteniamo il grafico della sollecitazione voluta.

A differenza della deformata, nel caso di sollecitazioni, il SAP2000 permette di conoscere a video i valori della sollecitazione per qualunque ascissa. Occorre cliccare col pulsante destro l'asta che ci interessa facendo comparire, nel caso di Momento 3-3, la finestra *Moment 3-3 Diagram*.

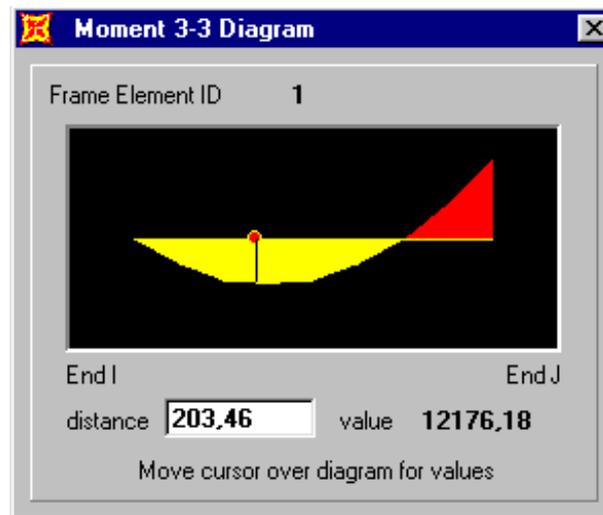


Figura 26 - Moment 3-3 Diagram

La finestra riporta in alto a destra il nome dell'elemento. Il SAP2000 dispone il grafico in modo tale che il nodo iniziale sia a sinistra, cioè *End I*, mentre il nodo finale è a destra, *End J*.

Per conoscere il momento in un punto particolare basta inserire il valore dell'ascissa nel casella di testo *distance*, in questo modo a destra possiamo leggere il valore corrispondente di momento. Altrimenti possiamo far scorrere il cursore sull'asta e così leggere ascissa e valore della sollecitazione corrispondente. Questo torna utile se cerchiamo l'ascissa in corrispondenza di un valore particolare di Momento o Taglio. La visualizzazione del Taglio avviene in maniera analogo a quella del momento. Per visualizzare le sollecitazioni sui nodi occorre:

- Dal menu *Display* scegliere *Show Element forces/stresses* e poi *Joints...* Compare la finestra di dialogo *Joint Reaction Forces*.

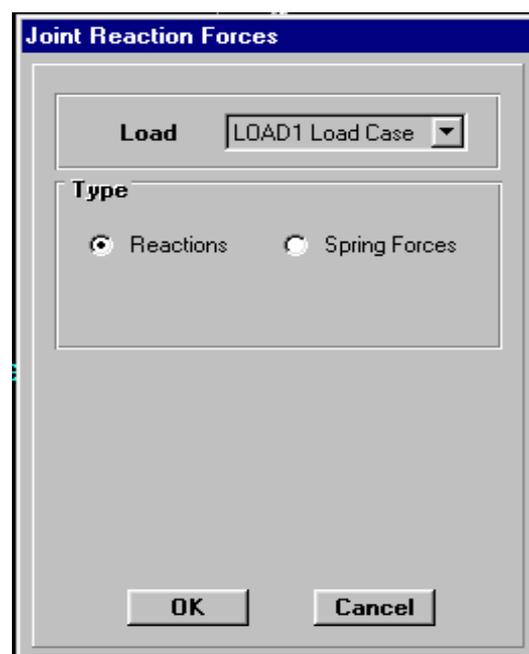


Figura 27 - Joint Reaction Forces

Come sempre, in alto possiamo selezionare il gruppo di carico di cui vogliamo conoscere le sollecitazioni sui nodi.

Nel secondo riquadro, *Type*, selezionamo il tipo di sollecitazione che intendiamo visualizzare. Nel caso di travi continue scegliamo *Reactions*. In pratica, visualizziamo le reazioni d'appoggio della trave.

Il secondo caso, *Springs*, visualizzerebbe le forze di reazione del letto di molle che avremmo usato per studiare una trave su suolo elastico.

Stampare i risultati e altre informazioni

Stampare i risultati dell'analisi

Per stampare i risultati dell'analisi occorre:

- Scegliere dal menu *File* la voce *Print Output Table...* compare la finestra di dialogo *Print Output Tables*

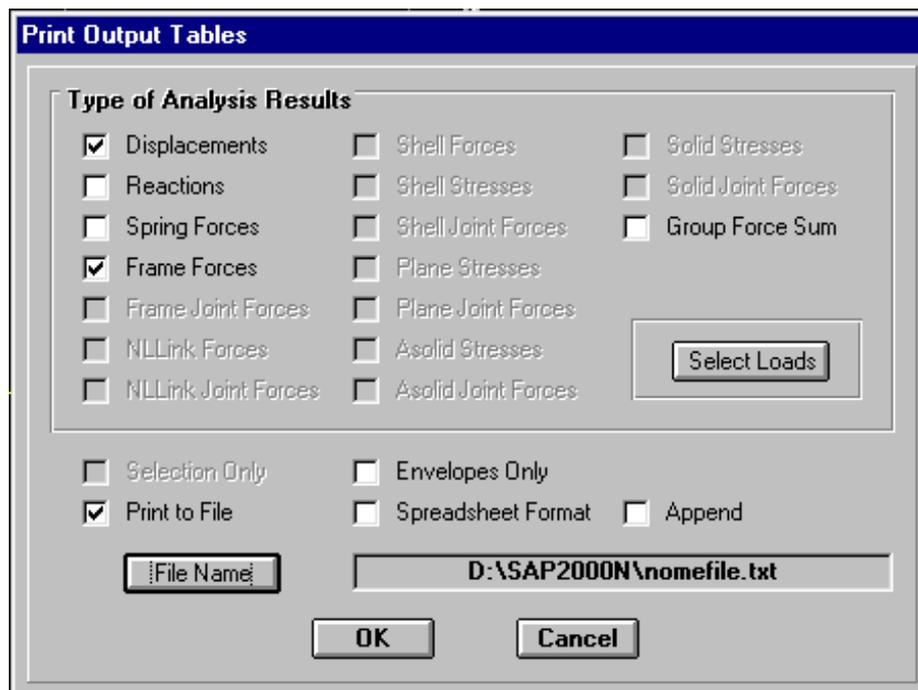


Figura 28 - Print Output Tables

Nel riquadro *Type of Analysis*, vengono riportate varie opzioni. Spuntando le opzioni chiediamo a SAP2000 di includere nelle stampe i risultati delle voci corrispondenti. Le opzioni che non risultano disabilitate, nel caso di struttura piana, sono:

- gli spostamenti della struttura (*Displacements*)
- le reazioni sugli appoggi (*Reactions*)
- le reazioni sulle molle (*Spring Forces*)
- le sollecitazioni sulle aste (*Frame Forces*).

Nella parte inferiore della finestra possiamo scegliere se stampare direttamente su carta oppure su un file di testo e di stamparlo in seguito con un elaboratore di testi. (Notepad di Windows, Word, etc...). Consiglio di stampare su file e formattarlo con un programma per ottenere un testo ordinato e comodo.

Per stampare su file occorre:

- Spuntare *Print to File*.
- Cliccare su *File Name*. Compare una finestra di dialogo dove è possibile assegnare la posizione del file di testo e il nome. Il nome verrà riportato affianco come indicato in figura 24.

Il file di stampa può essere richiesto in formato “foglio elettronico” . In questo caso va spuntata la casella *SpreadSheet Format*. I risultati, quindi, potranno essere importati comodamente in Excel o Lotus 1-2-3 etc..., e per poter elaborare ulteriormente i risultati.

Un’opzione interessante è *l’Append*. Se questa opzione viene spuntata i risultati vengono “appesi”, cioè aggiunti, al file che si è scelto precedentemente. Questa opzione è utile nel momento in cui si voglia aggiungere alcuni risultati ad un file esistente.

L’opzione *Envelopes* permette di stampare solo i risultati degli involucri di combinazioni di gruppo di carico.

Il pulsante *Select Loads* permette di selezionare i risultati di un gruppo di carico particolare di cui si intende studiare. Quello di default è il LOAD1.

Il check box *Group Force Sum* permette di chiedere al SAP2000 di sommare i valori di alcune sollecitazioni, per il gruppo di carico selezionato (LOAD1), degli elementi riuniti in un gruppo. Nel caso di travi continue questo significa avere la somma di tutte le reazioni agli appoggi se si sceglie il gruppo di elementi ALL (tutti).

Stampare la schermata attiva

Questa opzione permette di stampare su carta il disegno nella finestra corrente. Questo strumento è utilissimo perché permette di avere su carta grafici importanti come quello del Momento, del Taglio e dell’azione Assiale in scala e con i valori o le informazioni che abbiamo visualizzato su schermo. Per stampare il grafico occorre:

- Scegliere dal menu *File* la voce *Print Graphics...* viene avviata la stampa su carta.
- Oppure premere *Control + G*

Stampare l'input

Alcune volte a causa della complessità del modello capita di dover stampare i dati che abbiamo inserito nel SAP2000 per generare il modello. Le stampe che otteniamo raccolgono le informazioni relative alla geometria, ai carichi, ai vincoli ecc. che hanno permesso l'analisi della struttura. Per accedere a questa possibilità occorre:

- Scegliere dal menu *File* la voce *Print Output Table...* compare la finestra di dialogo *Print Input Tables*

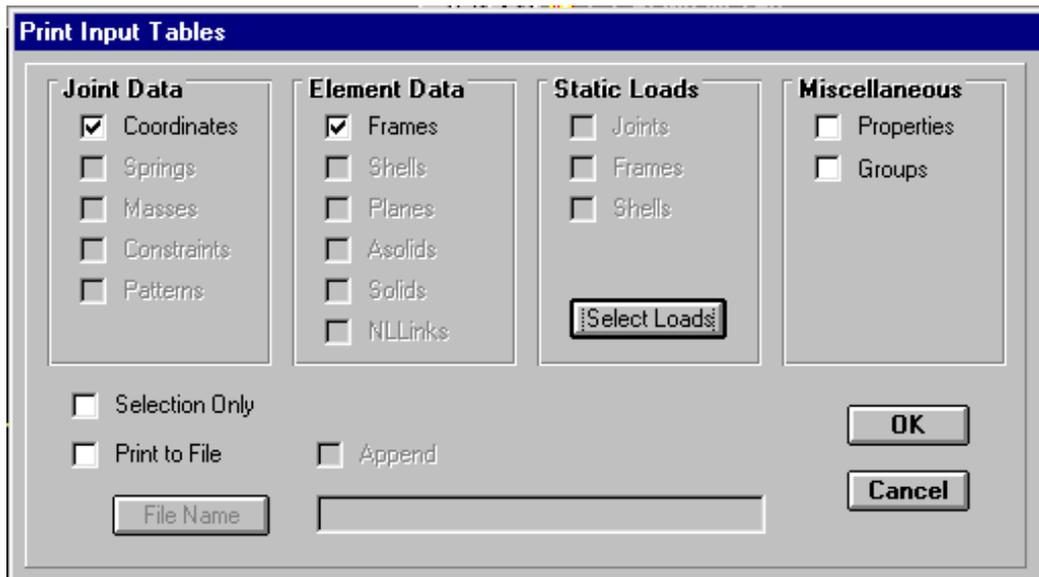


Figura 29 - Print Input Tables

La finestra è divisa in quattro riquadri.

Nel riquadro *Joint Data* sono presentate le proprietà dei nodi che sono servite a generare le geometria del modello. Le opzioni sono:

Coordinates	Coordinate
Springs	Molle
Masses	Masse
Constraints	Vincoli
Patterns	Schemi

Il programma propone alcune opzioni già spuntate e precisamente quelle che sono state impiegate nel modello. Nel caso di travi continue, non avendo usato molle o vincoli particolari, possiamo stampare solo le coordinate dei giunti (*Coordinates*.)

Il secondo riquadro, *Element Data*, permette di includere nella stampa gli elementi costituenti la struttura che ci interessano. Le opzioni sono :

Frames	Elemento monodimensionale
Shells	Piastre
Planes	Piani
Asolids	Solidi di rotazione
Solids	Solidi
NNlinks	Elementi non lineari. Vedi GAP, DAMP ecc.

Il terzo riquadro, *Static Loads*, permette di includere nella stampa i carichi suddivisi in base all'elemento a cui sono stati attribuiti. I carichi sono, così, quelli relativi alle aste, alle piastre e/o ai nodi. Nel caso di travi continue siamo obbligati a selezionare la voce *Frames*. Premendo il pulsante *LOADS* possiamo scegliere il gruppo di carico, per default, SAP2000 stamperà quelli relativi a *LOAD1*.

Il riquadro *Miscellaneous*, permette di includere nella stampa le proprietà o i gruppi di elementi generati.

La casella *Selection Only* notifica a SAP2000 di stampare solo quelli selezionati nella finestra attiva. Nel caso si spuntasse questa opzione avremo informazioni solo relative agli elementi correntemente selezionati.

La casella di *Print to File* permette di indirizzare la stampa su un file e non direttamente sulla stampante.

Premere OK per chiudere la finestra ed avviare la stampa.

Modificare la struttura

Dopo aver analizzato i risultati ottenuti molto spesso abbiamo l'esigenza di modificare la struttura, per esempio cambiare le dimensioni della sezione o le proprietà dei materiali e far girare nuovamente il SAP2000 per ottenere altre sollecitazioni. Per preparare il nuovo modello occorre però prima 'sbloccare' il SAP2000. Per ragioni di sicurezza il programma blocca tutte le funzioni che permettono la modifica del modello che altrimenti porterebbe ad avere una situazione pericolosa in modello e diagrammi delle sollecitazioni non sono sincronizzati.

Per sbloccare il SAP2000:

- Occorre premere 
- SAP2000 avvisa che tutti i file dei risultati ottenuti verranno cancellati. Quindi se non avete stampato su carta o su file il risultato fatelo ora. Premere OK.
- La struttura è pronta per essere modificata.