



Galleria San Marco 4

33170 Pordenone

Tel. 0434 28465

E-mail info@csi-italia.eu

<http://www.csi-italia.eu>

Guide rapide all'uso di SAP2000/ETABS:

ANALISI MODALE

SOMMARIO

1.	PRINCIPI DI BASE	3
1.1.	Introduzione	3
1.2.	Definizione della rigidezza strutturale.....	3
1.3.	Definizione della massa strutturale.....	4
2.	IMPOSTAZIONE DEI PARAMETRI DI ANALISI	6
2.1.	Analisi modale agli autovettori	6
2.2.	Analisi modale ai vettori di Ritz	7
3.	ESEMPIO 1: ANALISI MODALE DI UNA STRUTTURA MULTIPIANO IN C.A.	9
3.1.	Modello privo di platea di fondazione	11
3.2.	Modello con platea di fondazione.....	15

PRINCIPI DI BASE

1.1. Introduzione

L'analisi modale è uno strumento fondamentale per la comprensione del comportamento dinamico di una struttura e fornisce indicazioni molto utili riguardo la risposta, in campo elastico, della stessa ad un carico dinamico (ad es. un sisma).

L'analisi modale consente di analizzare le seguenti grandezze rappresentative:

- i *periodi modali* T_i , importanti per conoscere il valore dell'accelerazione spettrale corrispondente: $S_a(T_i)$;
- il valore delle *masse partecipanti* corrispondenti ai vari modi, necessario per stabilire quanti modi considerare nell'analisi (in funzione del codice normativo da impiegare);
- i *coefficienti di partecipazione* dei singoli modi γ_i , legati al valore del taglio alla base corrispondente dalla relazione: $V_{b,i} = \gamma_i^2 \cdot S_a(T_i)$.

Per il corretto svolgimento di un'analisi modale occorre che siano stati compiutamente definite:

- *rigidezza della struttura*: attraverso la modellazione degli elementi strutturali e dei relativi vincoli interni ed esterni;
- *massa della struttura*: attraverso l'inserimento di carichi o masse che rappresentino adeguatamente l'effettiva distribuzione di massa all'interno dell'edificio.

1.2. Definizione della rigidezza strutturale

La rigidezza della struttura dipende dalla rigidezza degli elementi strutturali e dal loro grado di vincolo, interno ed esterno.

Ai fini di una corretta modellazione è necessario che siano definite compiutamente le caratteristiche meccaniche dei materiali e le caratteristiche geometriche delle varie sezioni.

È opportuno notare che l'analisi modale è, di fatto, un'analisi lineare pertanto essa non è in grado di cogliere fenomeni non lineari che comportino la variazione di rigidezza di elementi strutturali (come ad esempio la variazione di rigidezza dovuta alla fessurazione del cls nelle sezioni in ca, oppure l'instabilizzazione delle diagonali compresse negli edifici controventati in acciaio). Nel caso si volesse tener conto di tali fenomeni per lo studio del comportamento dinamico della struttura occorrerà dunque utilizzare moduli di elasticità

opportunamente ridotti (come peraltro previsto da varie normative) oppure ricorrere a modellazioni più dettagliate ed analisi non lineari.

1.3. Definizione della massa strutturale

Ai fini di un corretto svolgimento dell'analisi modale è fondamentale che le masse strutturali inserite nel modello di calcolo siano rappresentative dell'effettiva distribuzione di massa sulla struttura.

L'approccio utilizzato dai programmi SAP2000/ETABS prevede l'utilizzo di una matrice di massa di tipo *lumped*, nella quale le masse sono concentrate nei nodi strutturali. Per ogni nodo è possibile specificare 6 diversi valori di massa (3 masse traslazionali e 3 masse rotazionali), associati ai diversi gradi di libertà del nodo.

La procedura di assegnazione delle masse viene condotta attraverso il menu *Define* -> *Mass Source*. Attraverso la relativa finestra (Figura 1).

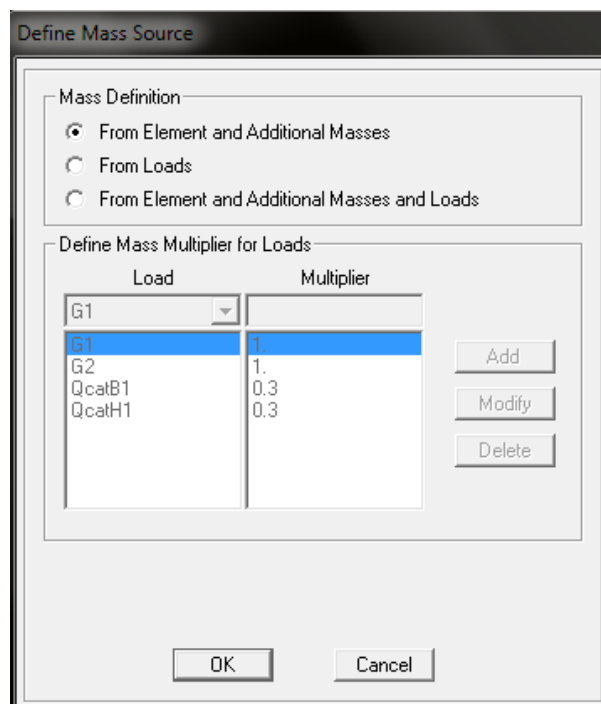


Figura 1

È possibile scegliere fra 3 opzioni:

- *From Element and Additional Masses*: selezionando questa opzione il programma riconoscerà come “fonti” di massa le masse degli elementi strutturali (che verranno automaticamente ripartite fra i nodi di estremità dei vari elementi) e le eventuali masse aggiunte dall’utente attraverso il menu *Assign -> Joint -> Masses*;
- *From Loads*: selezionando questa opzione il programma assegnerà in automatico ai vari nodi le masse corrispondenti ai carichi selezionati. Le masse verranno ripartite sui nodi in funzione della distribuzione del carico sull’elemento. È inoltre possibile specificare diversi *Multiplier* per i vari carichi in modo da considerare solo delle porzioni degli stessi (in accordo con le normative sismiche vigenti).
N.B. nel caso si scelga tale opzione è opportuno sottolineare che il programma non includerà automaticamente le masse relative agli elementi strutturali ed è pertanto necessario includere fra i carichi sorgenti un carico con *self weight multiplier* diverso da 0.
- *From Elements and Additional Masses and Loads*: in tal modo saranno considerate le masse degli elementi strutturali, le masse associate ai carichi specificati e le eventuali masse aggiunte puntualmente dall’utente.
N.B. nel caso si scelga tale opzione è opportuno accertarsi che tutti i carichi inclusi abbiano *self weight multiplier* pari a 0 altrimenti la massa degli elementi strutturali verrà computata più volte.

Nella procedura automatica di assegnazione delle masse, a partire dalle masse degli elementi strutturali oppure a partire da un carico, il programma associa a tutti i gradi di libertà traslazionali la stessa massa, derivante da una ripartizione statica, mentre associa massa nulla ad i gradi di libertà rotazionali. In tal modo l’inerzia rotazionale della struttura è dovuta unicamente alla centrifugazione dei nodi strutturali. Se, al contrario, si volesse concentrare l’intera massa della struttura in un unico nodo “master” ad ogni piano, occorrerà assegnare a tale nodo, oltre alle masse complessive traslazionali, anche la massa rotazionale corrispondente al momento d’inerzia di massa rispetto al polo considerato.

IMPOSTAZIONE DEI PARAMETRI DI ANALISI

Una volta completato il modello di analisi è necessario definire un caso di analisi di tipo *MODAL* attraverso il menu *Define -> Load Cases -> Add New Load Case*.

La finestra di definizione dell'analisi è riportata in Figura 2 ed è composta dalle seguenti parti:

- ***Stiffness to use***: permette di specificare la configurazione iniziale con la quale verrà creata la matrice di rigidezza della struttura. Selezionando la voce *Zero Inital conditions - Unstredssed State* la rigidezza considerata sarà quella relativa alla struttura indeformata e scarica; viceversa spuntando l'opzione *Stiffness at the end of Nonlinear Case* sarà possibile considerare come rigidezza la rigidezza corrispondente alla configurazione finale del caso di analisi non lineare specificato.
- ***Type of Modes***: permette di specificare se la determinazione dei modi di vibrare deve essere effettuata con riferimento agli autovettori esatti della matrice dinamica, oppure deve essere condotta in modo approssimato attraverso l'uso dei vettori di Ritz. Questo secondo approccio, come specificato nel seguito, permette di ottenere risultati più rapidi ed efficaci nei casi in cui determinate configurazioni strutturali richiedano un elevato numero di autovettori per eccitare una quantità significativa di massa in una data direzione.

Le restanti porzioni di finestra dipendono dal tipo di analisi selezionata fra quella agli autovettori e quella ai vettori di Ritz.

2.1. Analisi modale agli autovettori

Nel caso di analisi agli autovettori il programma procederà nel calcolo degli autovettori della matrice dinamica. Attraverso la finestra di definizione dell'analisi (Figura 2) è possibile impostare i seguenti parametri:

- ***Number of Modes***: consente di specificare il numero minimo e massimo di modi da calcolare;
- ***Loads Applied***: spuntando la voce *Show Advanced Load Parameters* è possibile introdurre, per ogni carico specificato, un vettore di correzione statica per tener conto della porzione di carico non eccitata dagli autovettori trovati. In tal caso per un corretto svolgimento dell'analisi non è necessario specificare per forza dei carichi;

- Other Parameters: in tale porzione di finestra è possibile forzare la ricerca degli autovalori all'interno di un determinato range di frequenze definendo una frequenza centrale (*shift*) ed un raggio di ricerca (*cutoff frequency*). È inoltre possibile specificare la tolleranza per la convergenza nella procedura iterativa di calcolo dei modi (il valore dei default è pari a 10^{-9} e si consiglia di non ridurlo eccessivamente per evitare di incappare in grossolani errori).

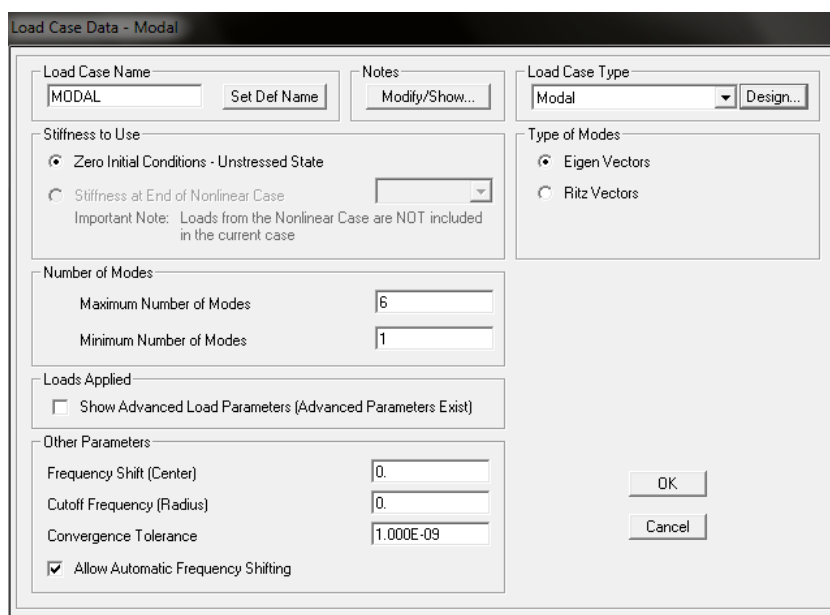


Figura 2

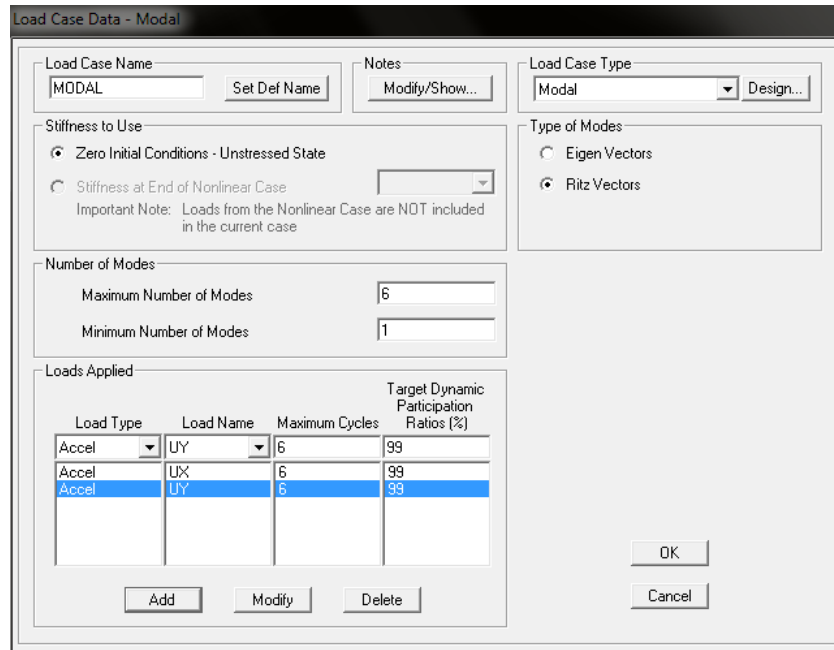
2.2. Analisi modale ai vettori di Ritz

Nel caso di analisi ai vettori di Ritz il programma procederà nel calcolo dei vettori che meglio approssimano la risposta del sistema ai carichi dinamici specificati. Tali vettori saranno rappresentati da una data frequenza e da una data forma modale molto prossime a quelle dei modi propri della struttura anche se, in generale, non coincidenti con essi. Per ulteriori approfondimenti sul metodo di analisi ai vettori di Ritz si rimanda al testo *Static & Dynamic Analysis of Structures* di Edward L. Wilson.

Attraverso la finestra di definizione dell'analisi (Figura 3) è possibile impostare i seguenti parametri:

- Number of Modes: consente di specificare il numero minimo e massimo di modi da calcolare;
- Loads Applied: in tale menu è necessario specificare quali sono i carichi dinamici agenti (che verranno utilizzati come base per la determinazione dei vettori di Ritz), il numero di

cicli iterativi (tipicamente 5 o 6) ed il target di partecipazione da raggiungere per il determinato carico.



Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Accel	UY	6	99
Accel	UX	6	99
Accel	UY	6	99

Figura 3

I vettori di Ritz sono particolarmente indicati in analisi di sovrapposizione modale per la determinazione della risposta di una struttura ad un determinato input dinamico. Le ragioni della loro versatilità risiedono nel fatto che, essendo determinati in funzione del carico dinamico da indagare, può esserne impiegato un numero molto inferiore rispetto al corrispondente numero di autovalori. Inoltre il loro impiego è particolarmente adatto nei casi in cui sia necessario l'utilizzo di un numero elevato di autovettori per raggiungere determinate soglie di massa partecipante: in tali casi, in pratica, l'impiego dei vettori di Ritz esclude dal calcolo i modi che non partecipano alla risposta della struttura nella data direzione.

ESEMPIO 1: ANALISI MODALE DI UNA STRUTTURA MULTIPIANO IN C.A.

Nel presente esempio verrà condotta un'analisi modale su una struttura multipiano in cemento armato. La struttura presenta dei pilastri di sezione 30 x 30cm, incastrati al piede, e travi 40 x 30 cm incastrate sui pilastri. L'altezza di interpiano è pari a 3 metri e tutte le campate sono pari a 6 metri. Il materiale è calcestruzzo di classe C35/45 avente le caratteristiche riportate in Figura 5. I solai sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano e pertanto sono stati inseriti dei diaframmi di piano ad ogni livello.

Verrà presentato sia il caso di modello privo di platea di fondazione che il modello con platea di fondazione (vedi Figura 4). Prima di procedere si ricorda inoltre che, ai fini di un'analisi sismica, è vivamente consigliato l'utilizzo di modelli distinti per la sovrastruttura e per la fondazione: la sovrastruttura verrà considerata incastrata al piede, e al modello della fondazione verranno applicate le azioni trasmesse dalla sovrastruttura. L'utilizzo di modelli congiunti per la sovrastruttura e la fondazione implica complesse valutazioni sull'interazione suolo-struttura che esulano dagli scopi della presente guida.

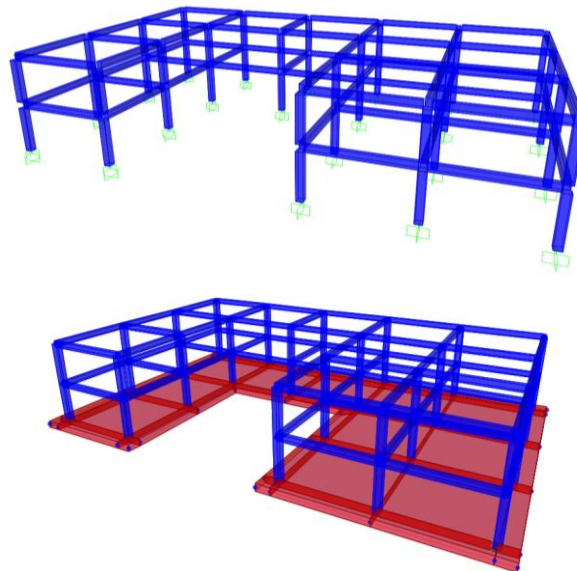


Figura 4

Figura 5

Ai fini di un'analisi sismica della struttura si decide di considerare le masse associate ai seguenti carichi:

pp degli elementi strutturali	25	kN/m ³
pp solai:	2.5	kN/m ²
carichi permanenti portati dai solai:	1.5	kN/m ²
pp tamponature perimetrali:	6	kN/m
30% carico antropico accidentale piano 1:	0.3x3.0	kN/m ²
30 % carico antropico accidentale copertura:	0.3x0.5	kN/m ²

Il peso sismico totale dell'edificio sarà perciò pari a:

pp degli elementi strutturali:	pilastri:	25 x 0.4 x 0.4 x 3 x 44 =	528.00	kN
	travi:	25 x 0.3 x 0.4 x 6 x 64 =	1152.00	kN
pp solai:		2.5 x 396 x 2 =	1980.00	kN
carichi permanenti portati dai solai:		1.5 x 396 x 2 =	1188.00	kN
pp tamponature perimetrali:		6 x 120 x 2 =	1440.00	kN
30% carico accidentale piano 1:		0.3 x 3.0 x 396 =	356.40	kN
30 % carico accidentale copertura:		0.3 x 0.5 x 396 =	59.40	kN

Peso Totale = 6703.80 kN
Massa Totale = 683.57 Ton

3.1. Modello privo di platea di fondazione

Al fine di assegnare tale massa alla struttura si procede assegnando i corrispondenti carichi agli elementi strutturali ed inserendoli come *Mass Source* (attraverso il menu *Define*). In Figura 6 è rappresentata la finestra di assegnazione in cui:

- DEAD rappresenta i carichi dovuti al pp di travi e pilastri (self weight multiplier = 1);
- G1 rappresenta i carichi dovuti al pp dei solai;
- G2 rappresenta i carichi permanenti non strutturali e comprende: i carichi permanenti portati dai solai ed peso delle tamponature perimetrali;
- QcatB1 e QcatB2 sono i carichi accidentali.

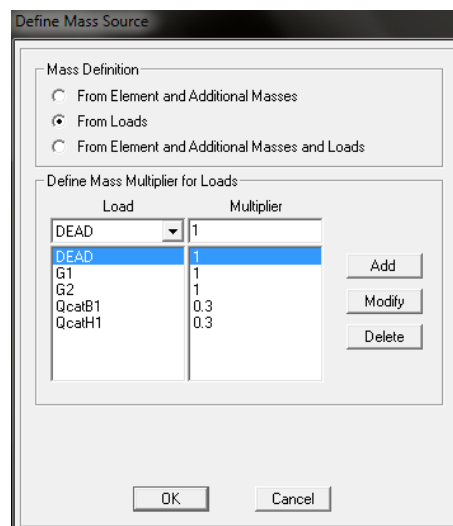


Figura 6

A questo punto è necessario definire un caso di analisi modale attraverso il menu *Define* -> *Load Cases* -> *Add New Load Case*. A titolo di esempio vengono creati 2 casi di analisi modale, uno agli autovettori (Figura 7) ed un altro ai vettori di Ritz (Figura 8). Nella definizione dell'analisi modale ai vettori di Ritz occorre specificare i carichi dinamici agenti, nel caso in esame si è ipotizzato di voler studiare il comportamento dinamico per un input in accelerazione in direzione X ed uno in direzione Y.

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL-1
 Notes:
 Load Case Type: Modal

Stiffness to Use
 Zero Initial Conditions - Unstressed State
 Stiffness at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes
 Eigen Vectors
 Ritz Vectors

Number of Modes
 Maximum Number of Modes: 6
 Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied
 Show Advanced Load Parameters

Other Parameters
 Frequency Shift (Center): 0.
 Cutoff Frequency (Radius): 0.
 Convergence Tolerance: 1.000E-09
 Allow Automatic Frequency Shifting

Figura 7

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL-2
 Notes:
 Load Case Type: Modal

Stiffness to Use
 Zero Initial Conditions - Unstressed State
 Stiffness at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes
 Eigen Vectors
 Ritz Vectors

Number of Modes
 Maximum Number of Modes: 6
 Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Accel	UX	6	99.
Accel	UX	6	99.
Accel	UY	6	99.

Figura 8

I risultati delle analisi in termini di periodi e masse partecipanti (accessibili attraverso il menu *Display -> Show Tables -> Analysis Results -> Structure Output -> Modal Information -> Table: Modal Participating Mass Ratios*) sono riportati di seguito.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.454375	0.82	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00
MODAL-1	Mode	2	0.451916	0.00	0.87	0.00	0.82	0.87	0.00
MODAL-1	Mode	3	0.416302	0.05	0.00	0.00	0.87	0.87	0.00
MODAL-1	Mode	4	0.144853	0.09	0.03	0.00	0.96	0.90	0.00
MODAL-1	Mode	5	0.144107	0.03	0.10	0.00	0.99	1.00	0.00
MODAL-1	Mode	6	0.135161	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
MODAL-2	Mode	1	0.454375	0.82	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00
MODAL-2	Mode	2	0.451916	0.00	0.87	0.00	0.82	0.87	0.00
MODAL-2	Mode	3	0.416302	0.05	0.00	0.00	0.87	0.87	0.00
MODAL-2	Mode	4	0.144850	0.09	0.03	0.00	0.96	0.90	0.00
MODAL-2	Mode	5	0.144107	0.03	0.10	0.00	0.99	1.00	0.00
MODAL-2	Mode	6	0.135122	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.454375	0.00	0.32	0.23	0.00	0.32	0.23
MODAL-1	Mode	2	0.451916	0.14	0.00	0.01	0.14	0.32	0.24
MODAL-1	Mode	3	0.416302	0.00	0.02	0.64	0.14	0.34	0.88
MODAL-1	Mode	4	0.144853	0.00	0.00	0.03	0.14	0.34	0.91
MODAL-1	Mode	5	0.144107	0.00	0.00	0.00	0.14	0.34	0.91
MODAL-1	Mode	6	0.135161	0.00	0.00	0.09	0.14	0.34	1.00
MODAL-2	Mode	1	0.454375	0.00	0.32	0.23	0.00	0.32	0.23
MODAL-2	Mode	2	0.451916	0.14	0.00	0.01	0.14	0.32	0.24
MODAL-2	Mode	3	0.416302	0.00	0.02	0.64	0.14	0.34	0.88
MODAL-2	Mode	4	0.144850	0.00	0.00	0.03	0.14	0.34	0.91
MODAL-2	Mode	5	0.144107	0.00	0.00	0.00	0.14	0.34	0.91
MODAL-2	Mode	6	0.135122	0.00	0.00	0.09	0.14	0.34	1.00

Analizzando i risultati si evince come nel caso di struttura abbastanza regolare, di fatto, i risultati di un'analisi modale agli autovettori e di una ai vettori di Ritz coincidano. Il vantaggio ottenibile dall'utilizzo dei vettori di Ritz è invece evidente nel caso di strutture irregolari con modi propri con percentuali di massa non predominanti ed in tutti i casi in cui è necessario l'utilizzo di un consistente numero di modi propri per ottenere determinati valori di massa partecipante.

Una volta condotta l'analisi è inoltre possibile controllare la massa assegnata dal programma ai vari nodi attraverso il menu *Display -> Show Tables -> Analysis Results -> Joint Output -> Joint Masses*.

TABLE: Assembled Joint Masses						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Kg	Kg	Kg	N-m-s2	N-m-s2	N-m-s2
1	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
2	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
3	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0
4	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
5	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
6	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
7	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
8	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
9	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0
13	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
14	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
15	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0
16	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
17	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
18	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0
22	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
23	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
24	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
25	611.65	611.65	611.65	0	0	0
26	22880.99	22880.99	22880.99	0	0	0
27	19516.1	19516.1	19516.1	0	0	0
28	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
29	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
30	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
34	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
35	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
36	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
37	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
38	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
39	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
43	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
44	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
45	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
46	611.65	611.65	611.65	0	0	0
47	22880.99	22880.99	22880.99	0	0	0
48	19516.1	19516.1	19516.1	0	0	0
49	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
50	22055.02	22055.02	22055.02	0	0	0
51	15707.46	15707.46	15707.46	0	0	0
52	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
53	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
54	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
55	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
56	22055.02	22055.02	22055.02	0	0	0
57	15707.46	15707.46	15707.46	0	0	0
58	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
59	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
60	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
64	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
65	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
66	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0
67	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
68	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
69	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
70	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
71	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0

TABLE: Assembled Joint Masses						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Kg	Kg	Kg	N-m-s2	N-m-s2	N-m-s2
72	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
73	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
74	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
75	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
76	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
77	16640.59	16640.59	16640.59	0	0	0
78	10981.35	10981.35	10981.35	0	0	0
79	4282.63	4282.63	4282.63	0	0	0
80	11226.17	11226.17	11226.17	0	0	0
81	6255.24	6255.24	6255.24	0	0	0

Il totale delle masse assegnate ai singoli nodi in una data direzione è pari a 683.55 Ton e coincide con la massa sismica calcolata manualmente.

3.2. Modello con platea di fondazione

Procedendo in maniera esattamente analoga al caso precedente si ottengono le seguenti caratteristiche modali.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.459681	0.40	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
MODAL-1	Mode	2	0.457320	0.00	0.43	0.00	0.41	0.43	0.00
MODAL-1	Mode	3	0.420884	0.02	0.00	0.00	0.43	0.43	0.00
MODAL-1	Mode	4	0.145705	0.04	0.01	0.00	0.47	0.44	0.00
MODAL-1	Mode	5	0.144968	0.01	0.05	0.00	0.49	0.49	0.00
MODAL-1	Mode	6	0.135997	0.00	0.00	0.00	0.49	0.49	0.00
MODAL-1	Mode	1	0.459657	0.40	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
MODAL-2	Mode	2	0.457320	0.00	0.43	0.00	0.41	0.43	0.00
MODAL-2	Mode	3	0.419922	0.02	0.00	0.00	0.43	0.43	0.00
MODAL-2	Mode	4	0.145033	0.00	0.06	0.00	0.43	0.49	0.00
MODAL-2	Mode	5	0.142533	0.06	0.00	0.00	0.49	0.49	0.00
MODAL-2	Mode	6	0.018757	0.00	0.08	0.00	0.50	0.58	0.00

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.459681	0.00	0.17	0.11	0.00	0.17	0.11
MODAL-1	Mode	2	0.457320	0.07	0.00	0.01	0.07	0.17	0.12
MODAL-1	Mode	3	0.420884	0.00	0.01	0.33	0.07	0.18	0.45
MODAL-1	Mode	4	0.145705	0.00	0.00	0.02	0.07	0.18	0.46
MODAL-1	Mode	5	0.144968	0.00	0.00	0.00	0.07	0.18	0.46
MODAL-1	Mode	6	0.135997	0.00	0.00	0.04	0.07	0.18	0.51
MODAL-2	Mode	1	0.459657	0.00	0.17	0.11	0.00	0.17	0.11
MODAL-2	Mode	2	0.457320	0.07	0.00	0.01	0.07	0.17	0.12
MODAL-2	Mode	3	0.419922	0.00	0.01	0.33	0.07	0.18	0.45
MODAL-2	Mode	4	0.145033	0.00	0.00	0.00	0.07	0.18	0.45
MODAL-2	Mode	5	0.142533	0.00	0.00	0.01	0.07	0.18	0.45
MODAL-2	Mode	6	0.018757	0.03	0.00	0.03	0.10	0.18	0.48

Le differenze fra le due tipologie di analisi sono lievi, con un leggero “vantaggio” per l’analisi ai vettori di Ritz che riesce, a parità di modi, ad eccitare una superiore quantità di massa per le traslazioni nel piano.

Le basse percentuali di massa partecipante sono dovute al fatto che nelle analisi si è tenuto conto anche della massa delle fondazioni che, essendo dell’ordine delle 500 Ton, non permetterà mai di raggiungere quote di massa partecipante superiori al 60% (valore corrispondente al rapporto fra la massa della sovrastruttura e quella delle fondazioni).

In tali casi occorre escludere dal modello la massa delle fondazioni, che essendo vincolata al suolo non comporta azioni sismiche sulla struttura. Allo stesso tempo occorre però tenere conto dell’azione statica dovuta al peso proprio delle stesse che grava sul terreno. A tale scopo è necessario imporre massa nulla alle sezioni costituenti la fondazione senza annullare il peso delle stesse. Questa operazione è possibile attraverso il menu *Define* -> *Sections Properties* -> *Area Sections* selezionando la sezione corrispondente alla platea (od agli elementi di fondazione) e cliccando sul pulsante *Modify/Show Section*. Nella relativa finestra occorrerà andare alla voce *Stiffness Modifier* ed impostare i valori come mostrato in Figura 9. L’ultima operazione da eseguire è quella di modificare le sorgenti di massa dal menu *Define* -> *Mass Source*, selezionando la terza voce (From Elements Additional Masses and Loads) e togliendo dalla lista dei carichi il carico DEAD (Figura 10). In tal modo al caso di carico DEAD resterà associato anche il peso della fondazione ma in sede di analisi modale non verrà inserita nel modello la sua massa.

I risultati delle nuove analisi sono riportati in forma tabellare nelle pagine successive.

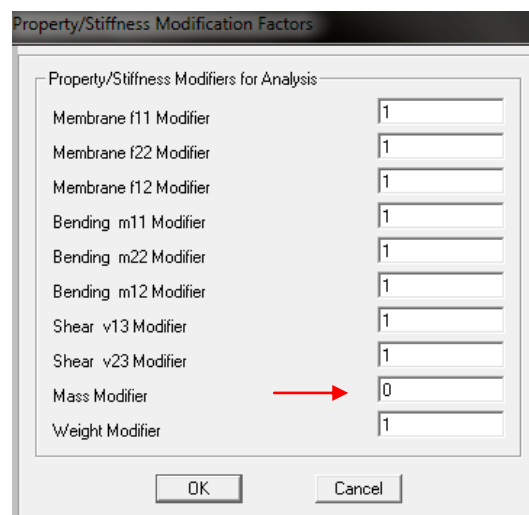


Figura 9

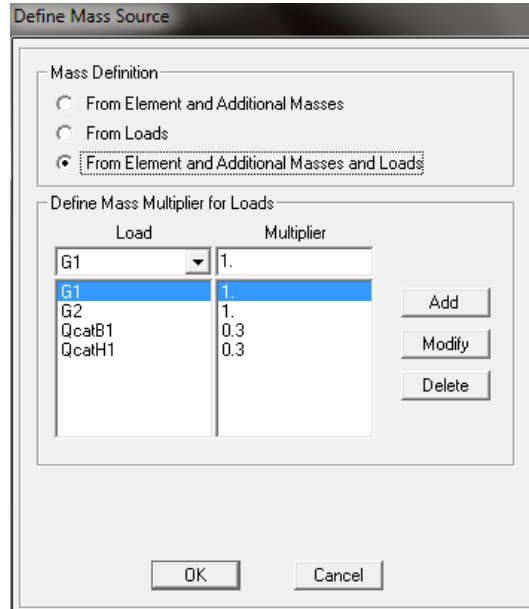


Figura 10

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.459673	0.82	0.01	0.00	0.82	0.01	0.00
MODAL-1	Mode	2	0.457311	0.01	0.87	0.00	0.83	0.88	0.00
MODAL-1	Mode	3	0.420878	0.05	0.00	0.00	0.88	0.88	0.00
MODAL-1	Mode	4	0.145701	0.09	0.02	0.00	0.97	0.90	0.00
MODAL-1	Mode	5	0.144964	0.03	0.10	0.00	0.99	1.00	0.00
MODAL-1	Mode	6	0.135993	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
MODAL-2	Mode	1	0.459673	0.82	0.01	0.00	0.82	0.01	0.00
MODAL-2	Mode	2	0.457311	0.01	0.87	0.00	0.83	0.88	0.00
MODAL-2	Mode	3	0.420859	0.05	0.00	0.00	0.88	0.88	0.00
MODAL-2	Mode	4	0.145225	0.08	0.04	0.00	0.96	0.92	0.00
MODAL-2	Mode	5	0.144951	0.04	0.08	0.00	1.00	1.00	0.00
MODAL-2	Mode	6	0.110311	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL-1	Mode	1	0.459673	0.00	0.25	0.22	0.00	0.25	0.22
MODAL-1	Mode	2	0.457311	0.11	0.00	0.01	0.11	0.25	0.23
MODAL-1	Mode	3	0.420878	0.00	0.01	0.65	0.11	0.26	0.88
MODAL-1	Mode	4	0.145701	0.00	0.00	0.03	0.11	0.26	0.91
MODAL-1	Mode	5	0.144964	0.00	0.00	0.00	0.11	0.26	0.91
MODAL-1	Mode	6	0.135993	0.00	0.00	0.08	0.11	0.26	1.00
MODAL-2	Mode	1	0.459673	0.00	0.25	0.22	0.00	0.25	0.22
MODAL-2	Mode	2	0.457311	0.11	0.00	0.01	0.11	0.25	0.23
MODAL-2	Mode	3	0.420859	0.00	0.01	0.64	0.11	0.26	0.88
MODAL-2	Mode	4	0.145225	0.00	0.00	0.01	0.11	0.26	0.89
MODAL-2	Mode	5	0.144951	0.00	0.00	0.00	0.11	0.26	0.90
MODAL-2	Mode	6	0.110311	0.03	0.00	0.09	0.14	0.26	0.98