



SAP2000



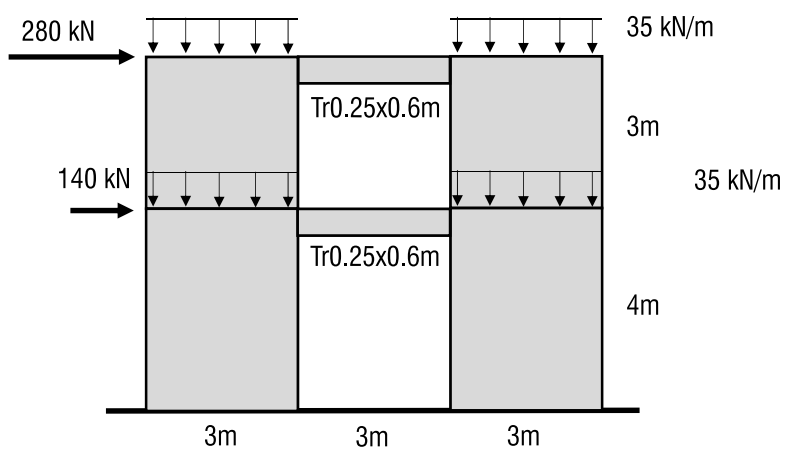
ESERCITAZIONI ALL'UTILIZZO DI SAP2000 PER L'ANALISI STRUTTURALE DI UN EDIFICIO IN C.A.

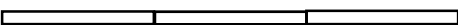
A. A. 2023-2024

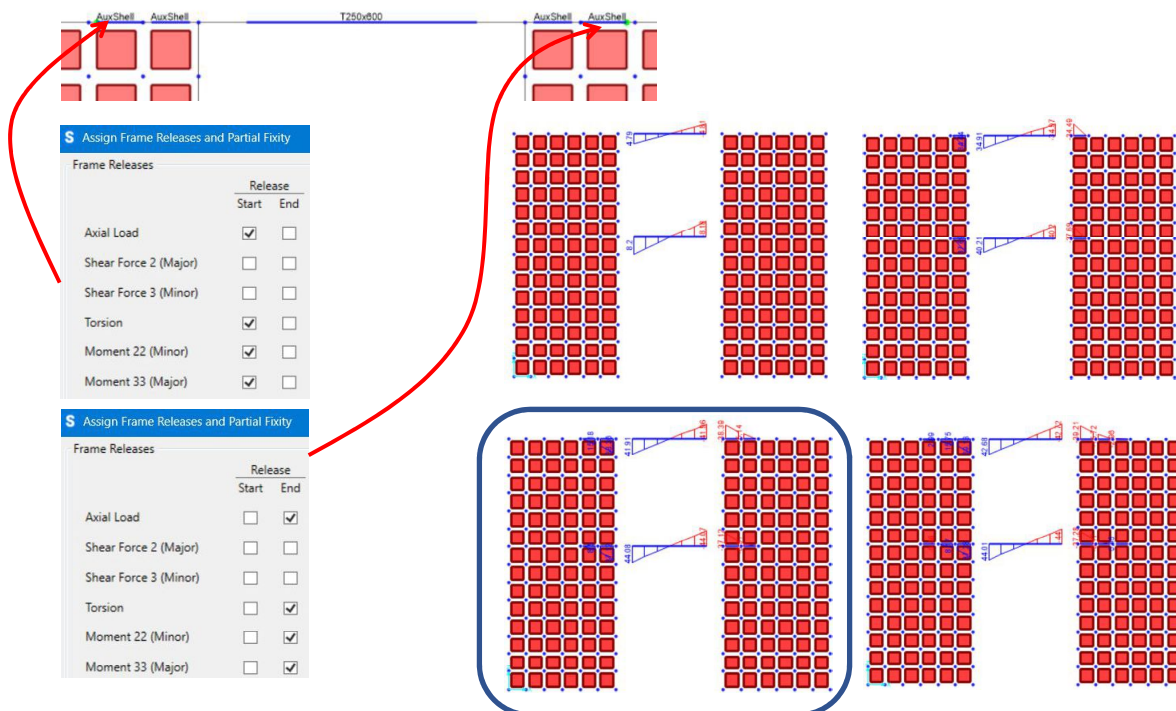
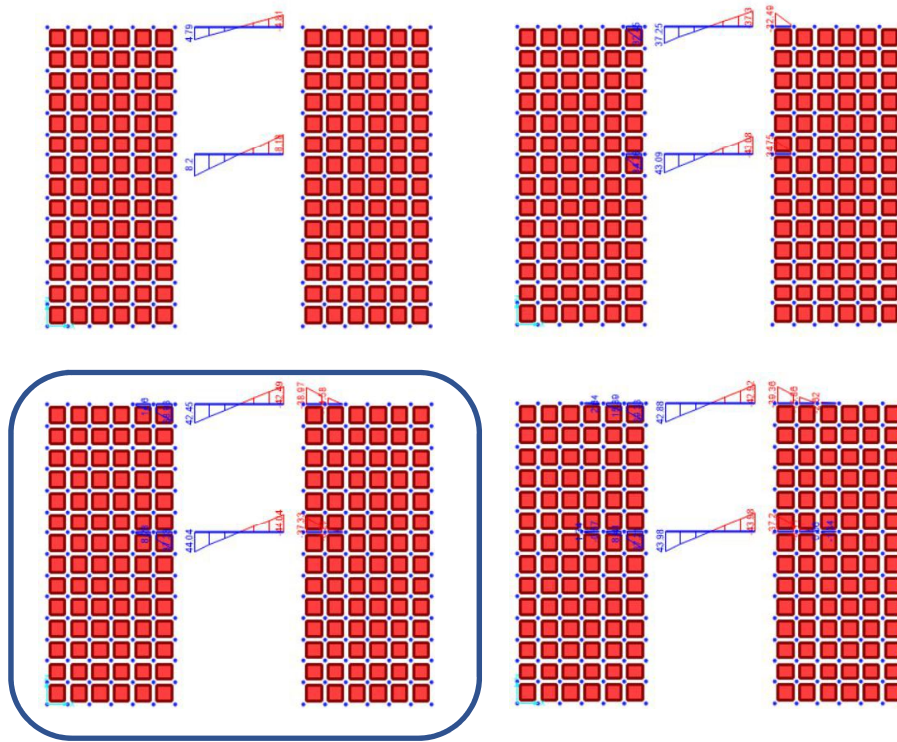
Esercitazioni all'utilizzo di SAP2000 per l'analisi strutturale di un edificio in c.a.

ESEMPIO 02b_Setti

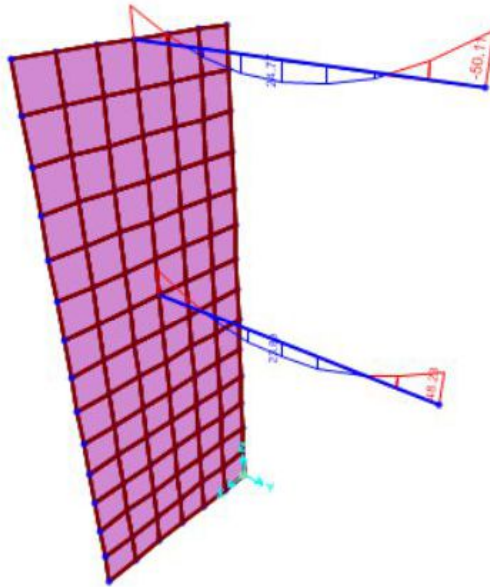
Vista frontale



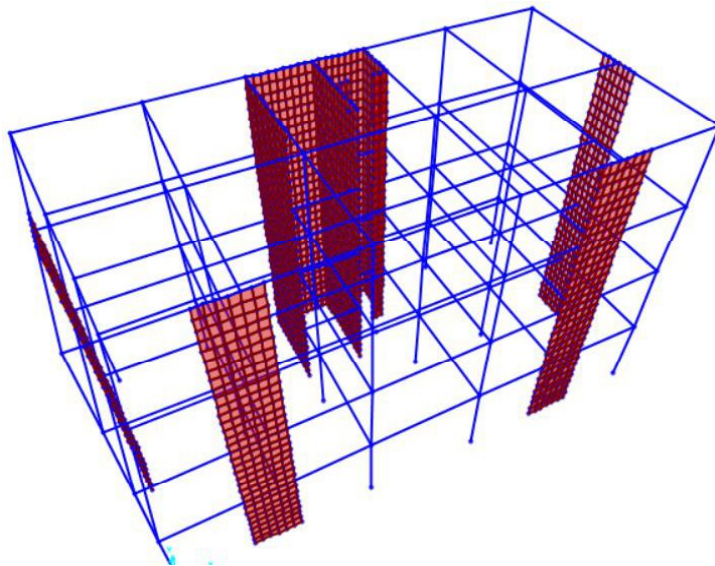
Sezione trasversale  0.25 m



ESEMPIO 02c_Setto



ESEMPIO 03_Edificio



Edificio in c.a.
4 piani fuori terra
($h = 3.15$ m)

Materiali

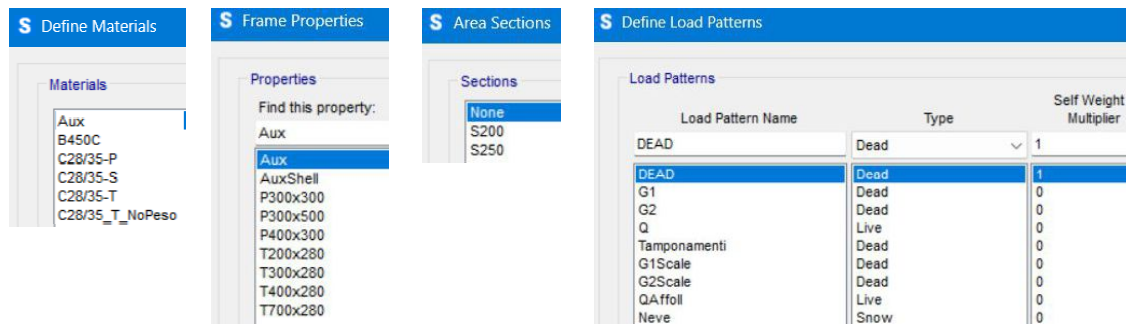
Calcestruzzo classe C28/35
Acciaio B450C

Carichi	Elemento	G1 [kN/m ²]	G2 [kN/m ²]	Q [kN/m ²]
	Solaio piano tipo 240+40 mm, i=500 mm	3.22	3.40	2.00
	Solaio copertura 200+40 mm, i=500 mm	3.22	2.40	1.20
	Tamponamenti esterni	0.00	2.50	0.00
	Scala sp. 200 mm	4.00	3.40	4.00

- **Definire unità di misura** (kN, m, C)
- **Definire griglia strutturale**
- **Definire materiali:** cls (differenziato per travi, pilastri e setti; cls senza peso; materiale ausiliario fittizio senza peso e rigidezza trascurabile)
- **Definire sezioni elementi frame:** per travi, pilastri ed elementi fittizi
- **Definire sezioni elementi shell:** per setti
- **Definire le categorie di carico**

OSS. su rigidezze fessurate: posso agire su E materiale...

...in alternativa su Properties Modifiers della sezione



- **Disegnare il modello:** se i piani sono molto simili, può essere più veloce disegnare un solo piano e poi agire mediante il comando edit-replicate (è possibile farlo anche dopo aver assegnato carichi e vincoli, ma attenzione a non fare confusione. È possibile selezionare quali proprietà copiare: es. solo la geometria o anche i vincoli e i carichi assegnati)

usare una mesh quanti più possibile regolare

prestare attenzione alla coincidenza dei nodi (posso verificare con edit - edit points - merge joints)

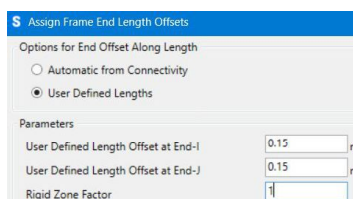
prestare attenzione all'interazione frame/shell

dove serve, aggiungere anche elem.frame fittizi (NOmassa-Norig) per agevolare applicazione dei carichi sui setti (così da agire attraverso frame loads – distributed anche sui setti)

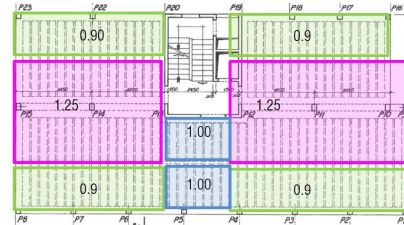
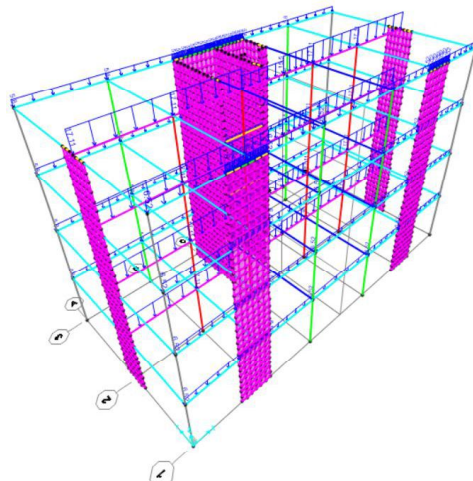


se necessario (lungh < 10 volte lato), definire i tratti rigidi alle estremità degli elementi frame per tenere conto dell'intersezione trave-pilastro nei nodi: Assign – Frame – End (length) Offset

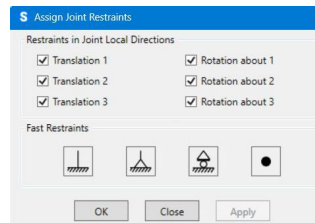
Rigid zone factor:
va da 1 (infinitamente rigido) a 0



- **Assegnare i carichi:** distributed frame loads su travi (ed eventuali elem. frame fittizi per i setti)
Per calcolare i carichi trasmessi dai solai, si consiglia: area d'influenza + **coefficienti correttivi**



- **Assegnare i vincoli:** assign - joint - restraints



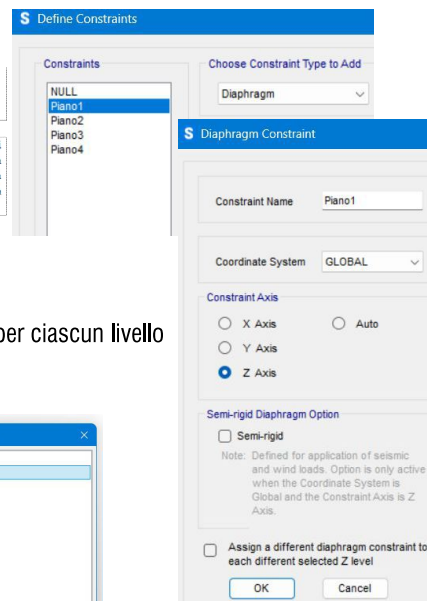
- **Definire i piani rigidi:** define - joint constraints – diaphragm

7.2.6. CRITERI DI MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA E DELL'AZIONE SISMICA

MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

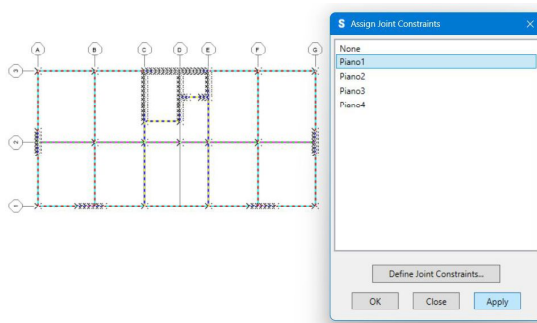
[...]

A meno di specifiche valutazioni e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidità, gli orizzontamenti piani possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio a condizione che siano realizzati in calcestruzzo armato, oppure in latero-cemento con soletta in calcestruzzo armato di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta in calcestruzzo armato di almeno 50 mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori a taglio opportunamente dimensionati.



ATTENZIONE!
Definire un vincolo di diaframma rigido distinto per ciascun livello

- **Assegnare i piani rigidi:** assign - joint - joint constraints



ATTENZIONE! Se poi si aggiungono altri nodi, **non** vengono considerati in automatico nel piano rigido: devo riassegnare il piano

- **Definire le combinazioni:** define - load combinations

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1.3
G1	Linear Static		1.3
G2	Linear Static		1.5
G2Scale	Linear Static		1.5
Tamponamenti	Linear Static		1.5
Q	Linear Static		1.5
QAffoll	Linear Static		1.5
Neve	Linear Static		1.5

- **Lanciare l'analisi**
- **Leggere i risultati**
- **Fare verifiche incrociate (calcolo a mano il peso)**

PER L'ANALISI MODALE

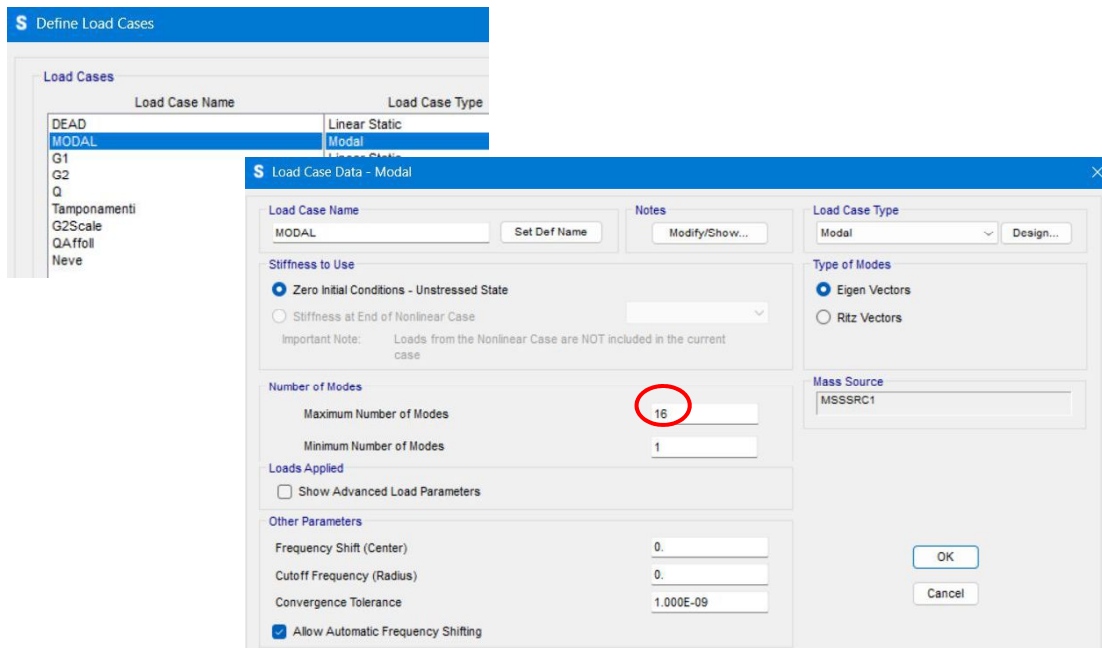
- **Definire le sorgenti di massa:** define – mass source

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

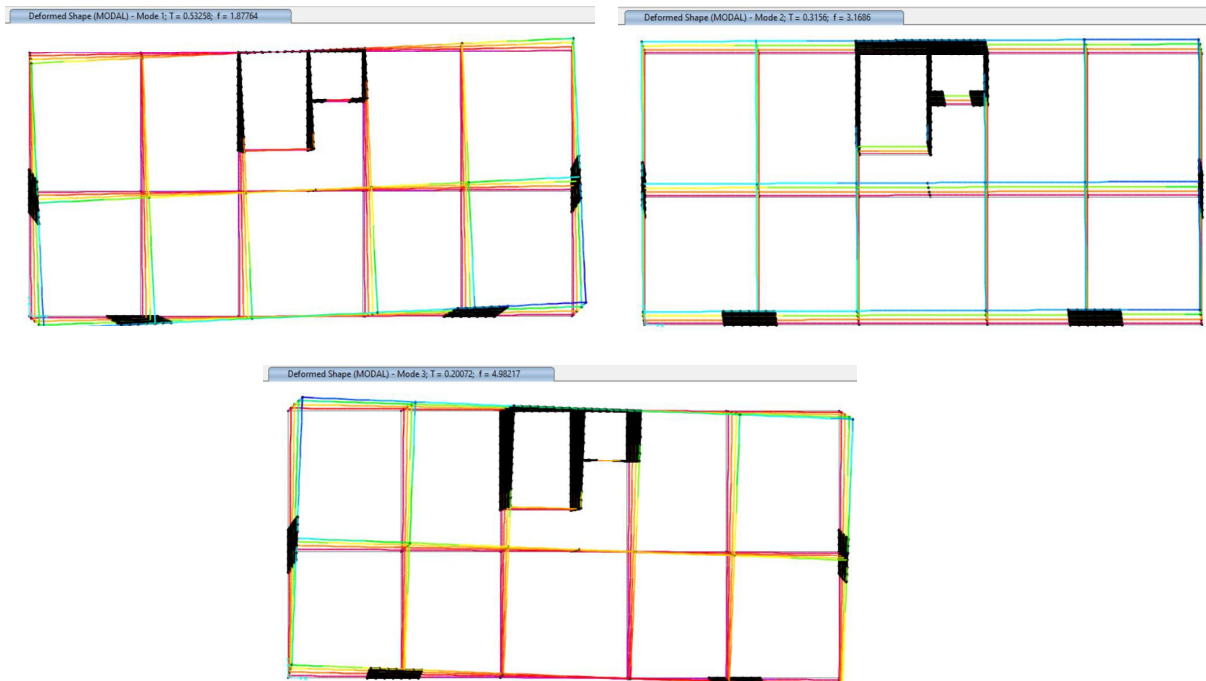
$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
G1	1.
G2	1.
Q	0.3
Tamponamenti	1.
G1Scale	1.
G2Scale	1.
QAffoll	0.6
Neve	0.

- Definire l'analisi: define - load cases



- Lanciare l'analisi e interpretare i risultati: Run analysis, Show deformed shape



• Lanciare l'analisi e interpretare i risultati: Display – Show tables

C7.3.3.2 ANALISI LINEARE STATICA⁹

In letteratura e nei diversi documenti tecnici di riferimento esistono espressioni più o meno semplici per determinare, in maniera approssimata, il periodo del primo modo di vibrare della struttura, in ciascuna delle due direzioni principali.

L'equazione [7.3.6] della norma porta in conto, in maniera indiretta, l'effettiva rigidità laterale della struttura e risulta, pertanto, più affidabile rispetto ad altre formulazioni più semplici, basate unicamente sul numero di piani o sull'altezza complessiva della costruzione, ma richiede necessariamente un modello di calcolo e un'analisi statica specifica.

Dipende dalle finalità dell'analisi il grado di approssimazione da conseguire nella determinazione del periodo T_1 , cui è legata la risposta spettrale e quindi l'entità delle forze statiche equivalenti. In via di prima approssimazione, si può utilizzare la seguente espressione semplificata:

$$T_1 = C_1 H^{3/4} \quad [C7.3.2]$$

dove H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio di acciaio o di legno, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio di calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni di muratura o per qualsiasi altro tipo di struttura.

Stima grossolana 0.33-0.5s

S Choose Tables for Display

Edit

- MODEL DEFINITION (0 of 70 tables selected)
 - System Data
 - Property Definitions
 - Load Pattern Definitions
 - Other Definitions
 - Load Case Definitions
 - Connectivity Data
 - Joint Assignments
 - Frame Assignments
 - Area Assignments
 - Options/Preferences Data
 - Miscellaneous Data
- ANALYSIS RESULTS (4 of 21 tables selected)
 - Run Information
 - Joint Output
 - Element Output
 - Structure Output
 - Base Reactions
 - Modal Information
 - Other Output Items
- DESIGN DATA (0 of 1 tables selected)

Ratios

mat-Filter-Sort Select Options

Modal Participating Mass Ratios

epType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Mode	1	0.419475	0.31367	0.00426	1.605E-07	0.31367	0.00426	1.605E-07	0.001	0.03416	0.00261	0.001	0.03416	0.40684
Mode	2	0.258906	0.02459	0.88046	2.515E-05	0.33026	0.68472	2.531E-05	0.1593	0.00249	0.00000	0.16029	0.03664	0.40944
Mode	3	0.16663	0.39752	0.02314	2.674E-05	0.73578	0.70786	5.205E-05	0.00487	0.03757	0.33569	0.16516	0.07421	0.74513
Mode	4	0.100355	0.08373	0.00102	4.578E-06	0.81951	0.70888	5.663E-05	0.00085	0.04645	0.09980	0.16601	0.12066	0.84211
Mode	5	0.08067	4.305E-05	0.00057	0.07536	0.81955	0.70945	0.07542	0.00057	0.00032	4.727E-05	0.16658	0.12098	0.84215
Mode	6	0.075893	8.882E-08	7.015E-08	0.00047	0.81955	0.70945	0.07589	1.244E-06	3.011E-06	2.241E-07	0.16658	0.12099	0.84215
MODAL	Mode	7	0.073787	1.952E-07	2.019E-07	0.0005	0.81955	0.70945	0.07639	2.907E-06	1.07E-07	0.16659	0.12099	0.84215
MODAL	Mode	8	0.072376	1.057E-06	4.306E-06	0.00332	0.81955	0.70946	0.07971	0.081E-07	4.684E-06	0.16659	0.12099	0.84216
MODAL	Mode	9	0.059627	0.00033	0.01011	0.03719	0.81988	0.71957	0.1169	0.01072	0.08112	0.17731	0.20211	0.84221
MODAL	Mode	10	0.056565	0.00073	0.02164	0.1305	0.82001	0.74121	0.25641	0.02049	0.01091	0.2098	0.21302	0.84233
MODAL	Mode	11	0.058294	0.00787	0.16952	0.00819	0.82848	0.91072	0.26459	0.20826	0.03462	0.0017	0.41506	0.24763
MODAL	Mode	12	0.054387	2.148E-05	0.00014	0.07742	0.8285	0.91086	0.24022	0.0071	1.594E-05	1.001E-05	0.48210	0.24765
MODAL	Mode	13	0.053091	0.00013	1.173E-07	0.01168	0.82863	0.91086	0.3537	0.01268	0.04289	0.00018	0.49484	0.29054
MODAL	Mode	14	0.053076	2.23E-05	0.00027	0.05509	0.82866	0.91113	0.40929	0.05198	0.00746	3.073E-06	0.54682	0.29602
MODAL	Mode	15	0.052664	1.959E-05	2.243E-05	4.918E-07	0.82868	0.91115	0.40929	1.137E-05	0.01178	5.56E-05	0.54684	0.3098
MODAL	Mode	16	0.048986	0.08741	0.00755	0.00011	0.91609	0.9187	0.40941	0.00923	0.07861	0.06875	0.55607	0.3884

PER L'ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA

• Definire lo spettro: define - functions - response spectrum

S Define Response Spectrum Functions

S Response Spectrum Italian NTC2018 Function Definition

Function Name: Spettro_SLV

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters:

- ag, F0 and Tc² - by Latitude/Longitude
- ag, F0 and Tc² - by Island
- ag, F0 and Tc² User Specified

Site Longitude (degree):

Site Latitude (degree):

Island Name:

Limit State:

Usage Class:

Nominal Life:

Peak Ground Acc., ag/g: 0.2

Magnification Factor, F0: 2.5

Reference period, Tc²: 0.33

Spectrum Type: Design Horiz

Soil Type: B

Topography: T1

h/H ratio: 1.

Spectrum Period, Tb: 0.151

Spectrum Period, Tc: 0.4531

Spectrum Period, Td: 2.4

Damping Percentage, Xi:

Behavior Factor, q: 3.

Convert to User Defined

Define Function:

Period	Acceleration
0	0.24
0.151	0.2
0.4531	0.2
0.5531	0.1638
0.6531	0.1388
0.7531	0.1203
0.8531	0.1062
0.9531	0.0951

Function Graph:

Display Graph (0.8065 , 0.1128)

OK Cancel

Definire e lanciare le analisi: define - load cases

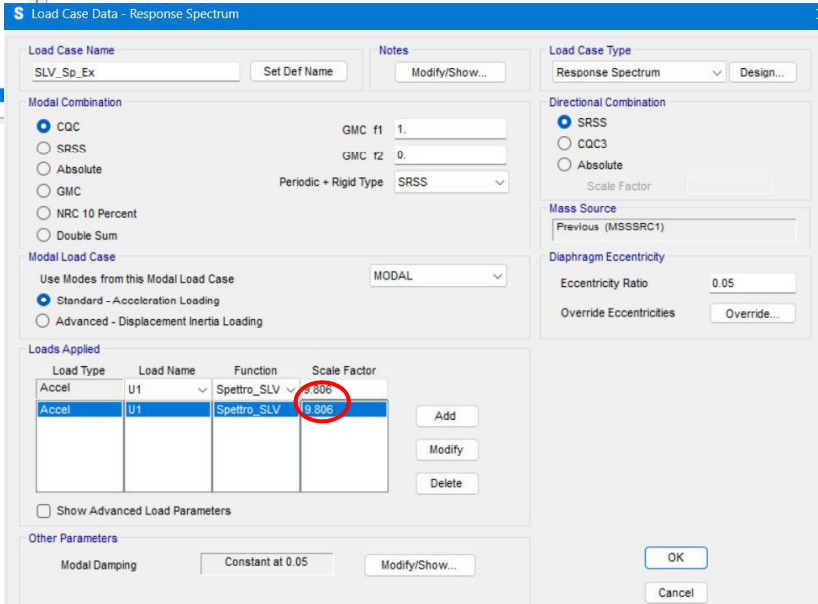
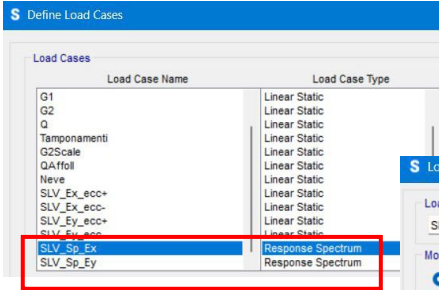
7.3.3.1 ANALISI LINEARE DINAMICA

L'analisi lineare dinamica consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore allo 85%. Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo, quale quella indicata nell'espressione [7.3.4]:

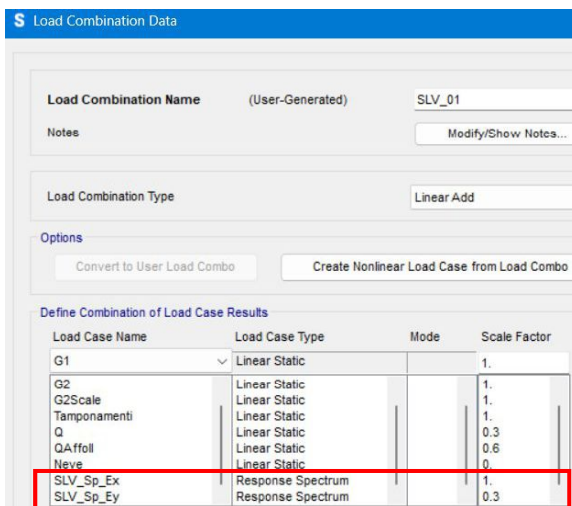
$$E = \sqrt{\sum \rho_i \cdot E_i \cdot E_j} \quad [7.3.4]$$



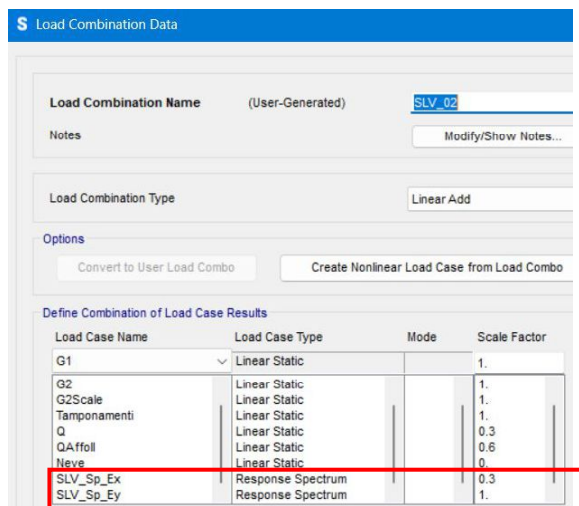
(ATT!: Risultati sollecitazioni segno sempre positivo)

Definire le combinazioni: define - load combinations

SONO 2



(Qui viene già tenuto conto sia del segno positivo che negativo)



(Qui viene già tenuto conto sia del segno positivo che negativo)

- Definire le combinazioni di involucro: define - load combinations

S Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) **Inviluppo_SLUSLV**

Notes **Modify/Show Notes...**

Load Combination Type **Envelope**

Options

Convert to User Load Combo **Create Nonlinear Load Case from Load Combo**

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
SLU_01	Combination		1.
SLU_01	Combination		1.
SLU_02	Combination		1.
SLU_03	Combination		1.
SLV_01	Combination		1.
SLV_02	Combination		1.

- Leggere le sollecitazioni con cui fare le verifiche: es. trave

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
40	0	SLU_01	Combination		0	-140.644	-2.342E-17	-0.1251	-1.193E-16	-82.3432
40	0	SLU_02	Combination		0	-71.629	-1.943E-17	-0.0741	-7.216E-17	-42.0311
40	0	SLU_03	Combination		0	-71.629	-1.943E-17	-0.0741	-7.216E-17	-42.0311
40	0	SLV_01	Combination	Max	0	-62.23	7.819E-15	4.633	5.224E-15	-16.1357
40	0	SLV_01	Combination	Min	0	-88.12	-7.863E-15	-4.7136	-5.446E-15	-71.5687
40	0	SLV_02	Combination	Max	0	-68.11	6.298E-15	2.4746	9.126E-15	-28.8136
40	0	SLV_02	Combination	Min	0	-82.24	-6.343E-15	-2.5552	-9.348E-15	-58.8908
40	0	Inviluppo_S...	Combination	Max	0	-62.23	7.819E-15	4.633	9.126E-15	-16.1357
40	0	Inviluppo_S...	Combination	Min	0	-140.644	-7.863E-15	-4.7136	-9.348E-15	-82.3432
40	2	SLU_01	Combination		0	2.652	-2.342E-17	-0.1251	-7.251E-17	55.6487
40	2	SLU_02	Combination		0	1.287	-1.943E-17	-0.0741	-3.331E-17	28.3106
40	2	SLU_03	Combination		0	1.287	-1.943E-17	-0.0741	-3.331E-17	28.3106
40	2	SLV_01	Combination	Max	0	14.488	7.819E-15	4.633	1.318E-14	31.6177
40	2	SLV_01	Combination	Min	0	-11.402	-7.863E-15	-4.7136	-1.331E-14	27.9422
40	2	SLV_02	Combination	Max	0	8.608	6.298E-15	2.4746	5.4E-15	30.7101
40	2	SLV_02	Combination	Min	0	-5.522	-6.343E-15	-2.5552	-5.533E-15	-28.8466
40	2	Inviluppo_S...	Combination	Max	0	14.488	7.819E-15	4.633	1.318E-14	55.6487
40	2	Inviluppo_S...	Combination	Min	0	-11.402	-7.863E-15	-4.7136	-1.331E-14	27.9422
40	4	SLU_01	Combination		0	145.948	-2.342E-17	-0.1251	-2.567E-17	-92.9513
40	4	SLU_02	Combination		0	74.203	-1.943E-17	-0.0741	5.551E-18	-47.1797
40	4	SLU_03	Combination		0	74.203	-1.943E-17	-0.0741	5.551E-18	-47.1797
40	4	SLV_01	Combination	Max	0	91.206	7.819E-15	4.633	2.867E-14	-25.9597
40	4	SLV_01	Combination	Min	0	65.316	-7.863E-15	-4.7136	-2.872E-14	-74.0881
40	4	SLV_02	Combination	Max	0	85.326	6.298E-15	2.4746	1.777E-14	-36.7993
40	4	SLV_02	Combination	Min	0	71.196	-6.343E-15	-2.5552	-1.782E-14	-63.2485
40	4	Inviluppo_S...	Combination	Max	0	145.948	7.819E-15	4.633	2.867E-14	-25.9597
40	4	Inviluppo_S...	Combination	Min	0	65.316	-7.863E-15	-4.7136	-2.872E-14	-92.9513

- Leggere le sollecitazioni con cui fare le verifiche: es pilastro

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
9	0	SLU_01	Combination		-415.518	-8.949	3.502	0.0072	3.4811	-9.2011
9	0	SLU_02	Combination		-241.034	-4.705	2.105	0.0037	2.125	-4.8287
9	0	SLU_03	Combination		-241.034	-4.705	2.105	0.0037	2.125	-4.8287
9	0	SLV_01	Combination	Max	-110.03	-0.955	11.18	1.7543	23.9198	5.0834
9	0	SLV_01	Combination	Min	-271.636	-8.891	-7.746	-1.7472	-20.4952	-15.2068
9	0	SLV_02	Combination	Max	-127.18	-2.258	8.911	0.9358	18.6263	1.8647
9	0	SLV_02	Combination	Min	-254.485	-7.589	-5.477	-0.9286	-15.201599...	-11.9881
9	0	Inviluppo_S...	Combination	Max	-110.03	-0.955	11.18	1.7543	23.9198	5.0834
9	0	Inviluppo_S...	Combination	Min	-415.518	-8.949	-7.746	-1.7472	-20.4952	-15.2068

9	3.15	SLU_01	Combination		-403.233	-8.949	3.502	0.0072	-7.55	18.9869
9	3.15	SLU_02	Combination		-231.584	-4.705	2.105	0.0037	-4.507	9.9924
9	3.15	SLU_03	Combination		-231.584	-4.705	2.105	0.0037	-4.507	9.9924
9	3.15	SLV_01	Combination	Max	-110.03	-0.955	11.18	1.7543	3.9661	13.212
9	3.15	SLV_01	Combination	Min	-271.636	-8.891	-7.746	-1.7472	-11.358	7.6817
9	3.15	SLV_02	Combination	Max	-127.18	-2.258	8.911	0.9358	2.0897	12.1648
9	3.15	SLV_02	Combination	Min	-254.485	-7.589	-5.477	-0.9286	-9.4816	8.7289
9	3.15	Inviluppo_S...	Combination	Max	-110.03	-0.955	11.18	1.7543	3.9661	18.9869
9	3.15	Inviluppo_S...	Combination	Min	-403.233	-8.949	-7.746	-1.7472	-11.358	7.6817

- Leggere le sollecitazioni con cui fare le verifiche: es setto

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
SettoY1-sez1	SLU_01	Combination		-901.017	15.879	-1.706	-0.0631	-5.1896	16.5214
SettoY1-sez1	SLU_02	Combination		-523.866	8.099	-0.899	-0.034	-1.2545	8.4371
SettoY1-sez1	SLU_03	Combination		-523.866	8.099	-0.899	-0.034	-1.2545	8.4371
SettoY1-sez1	SLV_01	Combination	Max	-301.539	18.201	252.888	7.1499	1287.1723	35.7035
SettoY1-sez1	SLV_01	Combination	Min	-469.155	-1.257	-254.523	-7.2207	-1291.3093	-18.0776
SettoY1-sez1	SLV_02	Combination	Max	-343.303	13.777	205.135	3.7945	1011.4529	23.4122
SettoY1-sez1	SLV_02	Combination	Min	-427.392	3.167	-206.77	-3.8653	-1015.5898	-5.7863
SettoY1-sez1	Inviluppo_S...	Combination	Max	-301.539	18.201	252.888	7.1499	1287.1723	35.7035
SettoY1-sez1	Inviluppo_S...	Combination	Min	-901.017	-1.257	-254.523	-7.2207	-1291.3093	-18.0776