



SAP2000

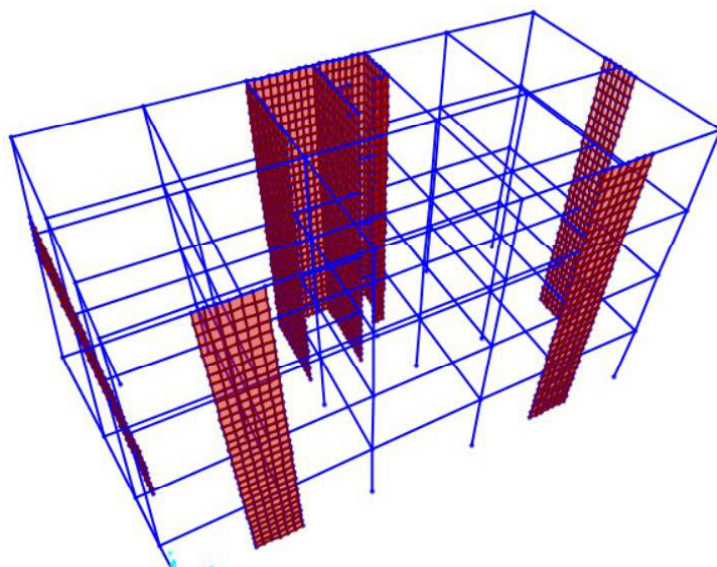


ESERCITAZIONI ALL'UTILIZZO DI SAP2000 PER L'ANALISI STRUTTURALE DI UN EDIFICIO IN C.A.

A. A. 2023-2024

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

ESEMPIO 03_Edificio



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

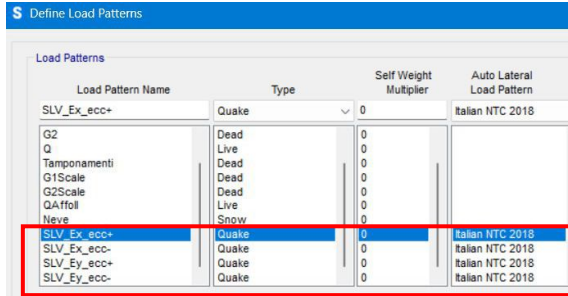
Materiali

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

PER L'ANALISI LINEARE STATICA

- Definire e lanciare le analisi: define - load cases



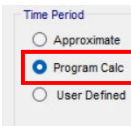
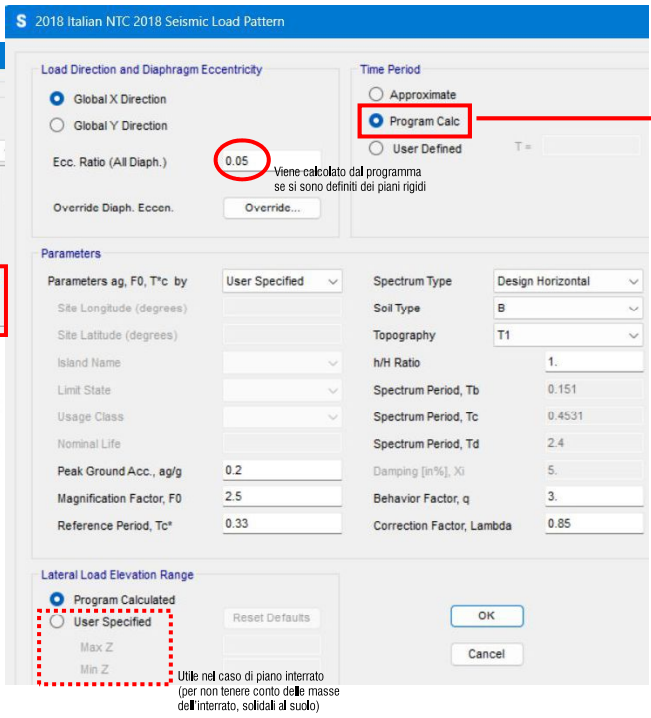
7.3.3.2 ANALISI LINEARE STATICA
L'analisi lineare statica consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2,5 T_C$ o T_C e che la costruzione sia regolare in altezza.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_a \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j W_j} \quad [7.3.7]$$

Il programma calcola le masse sulla base delle sorgenti di massa (mass source) già definite precedentemente



da ANALISI MODALE precedentemente svolta

Per default, il programma considera il periodo del modo che ha il fattore di partecipazione maggiore in quella direzione (X o Y)

OutputCase	StepType	StepNum	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	RY Unitless	RZ Unitless	SumRX Unitless	SumRY Unitless	SumRZ Unitless
MODAL	Mode	1	0.419475	0.31387	0.00426	1.605E-07	0.31387	0.00426	1.605E-07	0.001	0.03416	0.40684	0.001	0.03416	0.40684
MODAL	Mode	2	0.258906	0.02439	0.68046	2.515E-05	0.33826	0.68472	2.531E-05	0.1593	0.00249	0.00261	0.16029	0.03664	0.40944
MODAL	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



- Definire le combinazioni: define - load combinations

ANALISI DINAMICA O STATICA, LINEARE O NON LINEARE

La risposta è calcolata unitariamente per le tre componenti, applicando l'espressione:

$$1.00 \cdot E_x + 0.30 \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z$$

SONO 32 IN TOTALE

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
G1	Linear Static		1.
G2	Linear Static		1.
G2Scale	Linear Static		1.
Tamponamenti	Linear Static		1.
Q	Linear Static		0.3
QAffoll	Linear Static		0.6
Neve	Linear Static		0
SLV_Ex_ecc+	Linear Static		1.
SLV_Ey_ecc+	Linear Static		0.3

- Definire l'involuppo delle 32 combinazioni
- Leggere le sollecitazioni con cui fare le verifiche

IMPORTANZA DEL CONTROLLO INCRONCIATO (con semplici calcoli analitici)

Massa e posizione del centro di massa per ogni piano: quella calcolata in automatico dal programma si legge nel file .out che si genera in automatico dopo aver lanciato le analisi

Piano1, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3

GLOBAL	U1	U2	U3	R1	R2	R3
X	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
Y	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
Z	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000

TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA						
	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	213.062136	213.062136	.000000	.000000	.000000	10616.298

CENTER OF MASS			
GLOBAL	U1	U2	U3
X	9.754083	9.754083	9.704301
Y	4.505635	4.505635	5.995503
Z	3.150000	3.150000	3.150000

Piano4, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3

GLOBAL	U1	U2	U3	R1	R2	R3
X	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
Y	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
Z	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000

TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA						
	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	156.479191	156.479191	.000000	.000000	.000000	7211.102

CENTER OF MASS			
GLOBAL	U1	U2	U3
X	9.765977	9.765977	9.704301
Y	4.523203	4.523203	5.995503
Z	12.600000	12.600000	12.600000

Valutazione dei tagli di piano associati ad una determinata azione orizzontale: posso agire attraverso section cut tracciate graficamente (selezionato un determinato load case / combination)

Es. con SLV Ex ecc+

Section Cutting Line Projected Coordinates
Start Point: X=0.1112, Y=0.1112
End Point: X=10.2584, Y=0.1112

Resultant Force Location and Angle
X=0.75, Y=4.75, Z=0.1112, Angle (X to 1)=90

Integrated Forces

Left Side			Right Side		
1	2	Z	1	2	Z
Force	-3.184E-10	-2331.701	-2.891E-10	3.184E-10	2331.7007
Moment	20663.787	-2.844E-09	-918.1295	-20663.79	2.844E-09

Base Reactions

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
SLV_Ex_ecc+	LinStatic	-2331.701	1.979E-11	1.528E-10	6.693E-10	-20923.0725	11993.7079

Deve tornare con la reazione alla base!

N.B. Affinchè la s.c. funzioni sull'intero modello devo mettermi in 3d view (View – set3d view)

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato. La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_a \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$$F_a = S_d(T_1) W A/g$$

F_i è la forza da applicare alla massa i -esima;

W_i e W_j sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j ;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j ;

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

W è il peso complessivo della costruzione;

A è un coefficiente pari a 0,85 se $T_1 < 2T_c$ e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità.

Sd(T)	Wtot	Fh	$\sum W_i \cdot z_i$		
2.943	795.66	2341.627	5998.482		
	Wi	zi	Wi*zi	Fi	Vi
	156.48	12.6	1971.648	769.6722	769.6722
	213.06	9.45	2013.417	785.9776	1555.65
	213.06	6.3	1342.278	523.9851	2079.635
	213.06	3.15	671.139	261.9925	2341.627

Es. con SLV Ex ecc+

Integrated Forces

Left Side			Right Side		
1	2	Z	1	2	Z
Force	3.405E-10	-791.1018	-1.214E-10	-3.360E-10	791.1018
Moment	2163.5086	-2.933E-11	-325.3099	-2163.509	-7.216E-11

Integrated Forces

Left Side			Right Side		
1	2	Z	1	2	Z
Force	5.037E-11	-1570.785	-1.421E-10	-5.250E-11	1570.7845
Moment	6910.5293	-2.244E-10	-637.0785	-6910.53	-1.433E-10

Integrated Forces

Left Side			Right Side		
1	2	Z	1	2	Z
Force	-8.467E-11	-2084.317	-1.484E-10	8.662E-11	2084.3175
Moment	13234.003	-1.944E-11	-834.685	-13234	1.603E-11

Integrated Forces

Left Side			Right Side		
1	2	Z	1	2	Z
Force	-3.184E-10	-2331.701	-2.891E-10	3.184E-10	2331.7007
Moment	20663.787	-2.844E-09	-918.1295	-20663.79	2.844E-09

Vi
769.6722
1555.65
2079.635
2341.627

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato. La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_a \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7]$$

dove:

$$F_a = S_d(T_1) W A/g$$

F_i è la forza da applicare alla massa i -esima;

W_i e W_j sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j ;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j ;

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

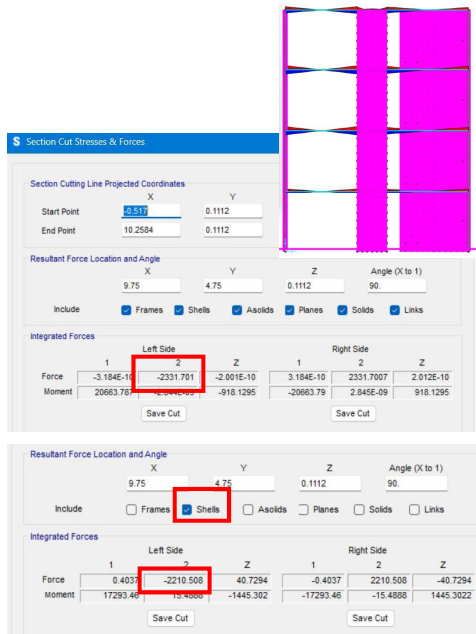
W è il peso complessivo della costruzione;

A è un coefficiente pari a 0,85 se $T_1 < 2T_c$ e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità.

Sd(T)	Wtot	Fh	$\sum W_i \cdot z_i$		
2.943	795.66	2341.627	5998.482		
	Wi	zi	Wi*zi	Fi	Vi
	156.48	12.6	1971.648	769.6722	769.6722
	213.06	9.45	2013.417	785.9776	1555.65
	213.06	6.3	1342.278	523.9851	2079.635
	213.06	3.15	671.139	261.9925	2341.627

Verifica della tipologia strutturale (e, di conseguenza, di una ragionata scelta di q):



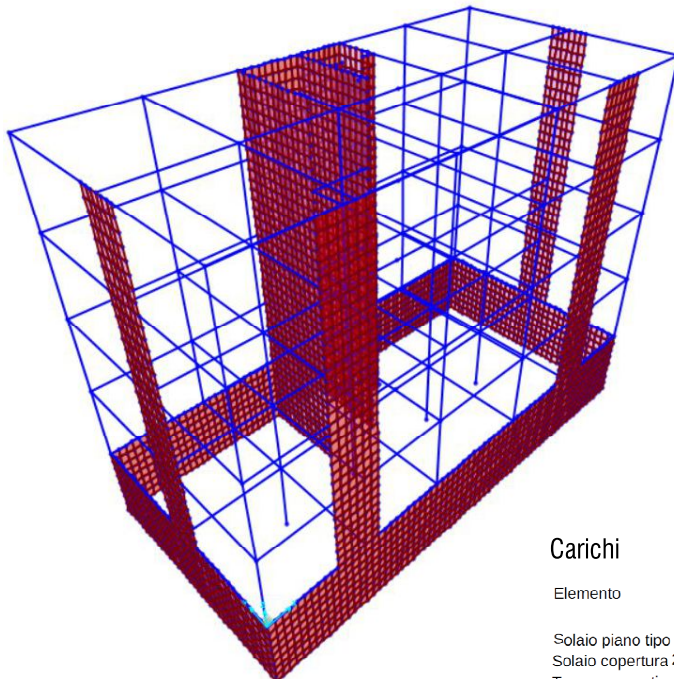
7.4.3. TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORI DI COMPORTAMENTO

7.4.3.1 TIPOLOGIE STRUTTURALI

Le strutture sismo-resistenti in calcestruzzo armato previste dalle presenti norme possono essere classificate nelle seguenti tipologie:

- strutture a telaio, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale;
- strutture a pareti, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti (v. § 7.4.4.5), aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale; le pareti, a seconda della forma in pianta, si definiscono semplici o composte (v. § 7.4.4.5), a seconda della assenza o presenza di opportune "travi di accoppiamento" duttili distribuite in modo regolare lungo l'altezza, si definiscono singole o accoppiate;
- strutture miste telaio-pareti, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di strutture miste equivalenti a telai, altrimenti si parla di strutture miste equivalenti a pareti;
- strutture a pendolo inverso, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione e nelle quali la dissipazione d'energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale;
- strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano, nelle quali almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione, in cui i pilastri sono incastrati in sommità alle travi lungo entrambe le direzioni principali dell'edificio. In ogni caso, per questo tipo di strutture, la forza assiale non può eccedere il 30% della resistenza a compressione della sola sezione di calcestruzzo;
- strutture deformabili torsionalmente, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione $r^2/I_p^2 > 1$, nella quale:

ESEMPIO 03b_Edificio con interrato



Edificio in c.a.
4 piani fuori terra
+ 1 piano interrato
(h = 3.15 m)

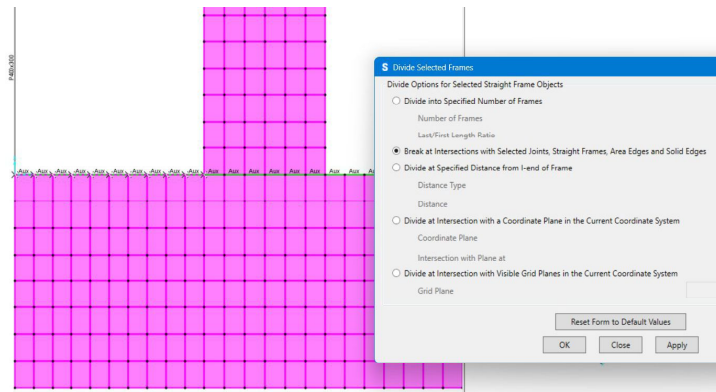
Materiali

Calcestruzzo classe C28/35
Acciaio B450C

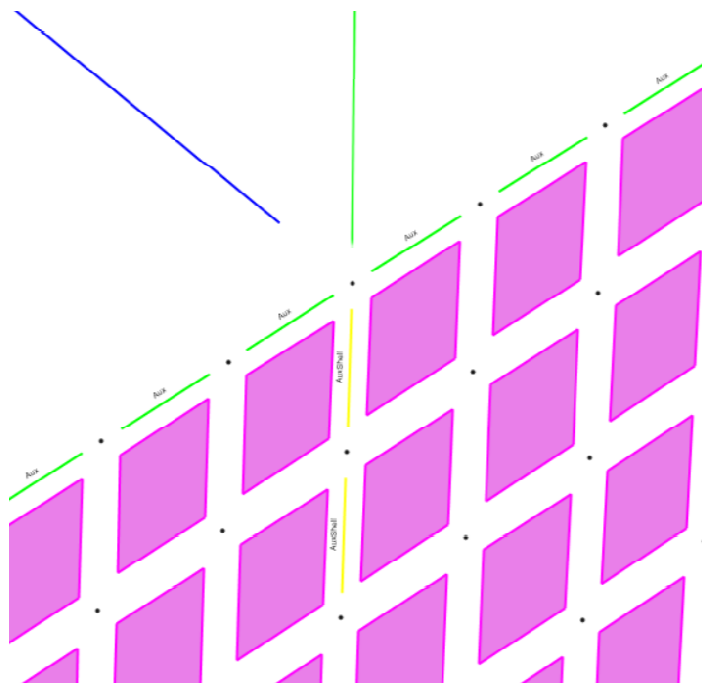
Carichi

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 240+40 mm, i=500 mm	3.22	2.40	1.20
Tamponamenti esterni	0.00	2.50	0.00
Scala sp. 200 mm	1.00	3.40	4.00

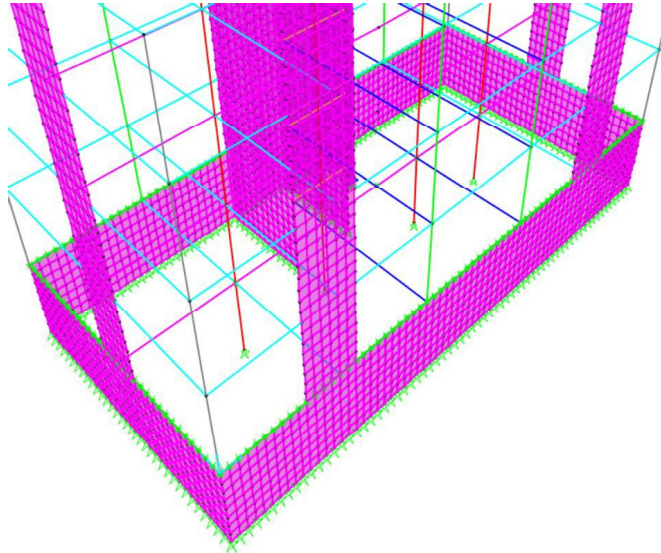
- **Aggiornare il modello:** si può agire copiando il piano terra (attenzione a casa si copia!)
Edit - replicate - replicate options
- **Disegnare la parete controterra mediante elementi shell:** PRESTARE MASSIMA ATTENZIONE AI COLLEGAMENTI TRA I NODI DEGLI ELEMENTI SHELL (prima di rimuovere pilastri e travi di bordo, si possono utilizzare come «guida» per creare una mesh regolare per le shell)
- **Aggiungere/aggiornare gli elementi ausiliari necessari all'applicazione dei carichi:** può conveniente disegnare un unico elemento frame e poi suddividerlo selezionando i nodi della shell (Edit – edit lines – Divide frames)



- **Aggiungere gli elementi ausiliari necessari alla trasmissione del momento alla base dei pilastri che si innestano nella parete controterra**



- **Applicare vincoli:** nel caso di modellazione semplificata che NON tiene conto della deformabilità del suolo
 - cerniere nei nodi alla base della parete controterra
 - + cerniere nei nodi alla base dei pilastri centrali (+ incastro nella sola dir. della trave rovescia)
 - + vincoli alla traslazione orizzontale sui nodi perimetrali alla quota 0
- **Definire e assegnare piano rigido alla quota 0**



- **Aggiornare l'altezza di riferimento per il calcolo delle forze statiche di piano** (nei load pattern di pertinenza)

S 2018 Italian NTC 2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approximate
 Program Calc
 User Defined T =

Parameters

Parameters ag , F_0 , T_c by

Site Longitude (degrees)

Site Latitude (degrees)

Island Name

Limit State

Usage Class

Nominal Life

Peak Ground Acc., ag/g

Magnification Factor, F_0

Reference Period, T_c^*

Spectrum Type

Soil Type

Topography

h/H Ratio

Spectrum Period, T_b

Spectrum Period, T_c

Spectrum Period, T_d

Damping [in%], ξ

Behavior Factor, q

Correction Factor, λ

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z

Min Z

OSSERVAZIONI SUI RISULTATI

```

Piano0, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3
TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA
    U1    U2    U3    R1    R2    R3
202.183198 202.183198 .000000 .000000 .000000 9572.860

CENTER OF MASS
GLOBAL    U1    U2    U3
X    9.754303  9.754303  9.732510
Y    4.495277  4.495277  5.206098
Z    3.150000  3.150000  3.150000

Piano1, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3
TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA
    U1    U2    U3    R1    R2    R3
213.062136 213.062136 .000000 .000000 .000000 10616.298

CENTER OF MASS
GLOBAL    U1    U2    U3
X    9.754083  9.754083  9.704301
Y    4.505635  4.505635  5.995503
Z    3.150000  3.150000  3.150000

Piano2, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3
TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA
    U1    U2    U3    R1    R2    R3
213.062136 213.062136 .000000 .000000 .000000 10616.298

CENTER OF MASS
GLOBAL    U1    U2    U3
X    9.754083  9.754083  9.704301
Y    4.505635  4.505635  5.995503
Z    6.300000  6.300000  6.300000

Piano3, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3
TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA
    U1    U2    U3    R1    R2    R3
213.062136 213.062136 .000000 .000000 .000000 10616.298

CENTER OF MASS
GLOBAL    U1    U2    U3
X    9.754083  9.754083  9.704301
Y    4.505635  4.505635  5.995503
Z    9.450000  9.450000  9.450000

Piano4, CONSTR = RIGID, DOF = U1 U2 R3
TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA
    U1    U2    U3    R1    R2    R3
156.479191 156.479191 .000000 .000000 .000000 7211.102

CENTER OF MASS
GLOBAL    U1    U2    U3
X    9.765977  9.765977  9.704301
Y    4.523203  4.523203  5.995503
Z    12.600000 12.600000 12.600000
    
```

S Modal Participating Mass Ratios							
File	View	Edit	Format-Filter-Sort	Select	Options		
Units: As Noted							
Filter:							
	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
		Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.446478	0.28914	0.00546	2.742E-08
	MODAL	Mode	2	0.308253	0.02448	0.63728	2.417E-05
	MODAL	Mode	3	0.195714	0.35889	0.02112	2.295E-05
	MODAL	Mode	4	0.105843	0.0701	0.00085	3.064E-06
	MODAL	Mode	5	0.080685	2.879E-05	0.00059	0.0604
	MODAL	Mode	6	0.075693	2.947E-08	8.546E-08	0.00038
	MODAL	Mode	7	0.073788	1.327E-07	2.503E-07	0.0004
	MODAL	Mode	8	0.072377	1.079E-06	7.216E-06	0.00264
	MODAL	Mode	9	0.063247	0.00632	0.15676	6.066E-05
	MODAL	Mode	10	0.059644	1.035E-05	2.563E-05	0.07008
	MODAL	Mode	11	0.059559	4.039E-05	5.576E-05	0.09227
	MODAL	Mode	12	0.057509	1.114E-05	0.0001	0.06252
	MODAL	Mode	13	0.056075	6.434E-05	3.472E-06	0.01033

Integrated Forces			
Left Side			
	1	2	Z
Force	8.316E-11	-800.2627	-6.808E-11
Moment	2209.9289	2.585E-10	-329.077

Integrated Forces			
Left Side			
	1	2	Z
Force	3.346E-10	-1588.974	-1.247E-10
Moment	6772.5456	5.633E-10	-644.4558

Integrated Forces			
Left Side			
	1	2	Z
Force	1.517E-10	-2108.454	-1.387E-10
Moment	13379.872	9.970E-10	-844.3506

Integrated Forces			
Left Side			
	1	2	Z
Force	1.485E-10	-2358.702	-1.714E-10
Moment	20700.932	1.500E-09	-928.7614

