

## **Informativa sull'affidabilità dei codici – Scala con pilastro circolare**

D.M. 14.01.2008 – “Norme tecniche per le costruzioni” – paragrafo 10.2

Il processo di progettazione e sviluppo del software **Scala con pilastro circolare**, per ciò che riguarda le procedure di calcolo e l'elaborazione degli elaborati in output forniti, è sottoposto al controllo del Sistema di Gestione della Qualità Aziendale della **Stacec s.r.l.**, con sede in Bovalino (RC), S.S. 106 km 87, n. 59, conforme alla norma ISO 9001:2000 e certificato da **Certiquality** con n. 8679.

Si dichiara, inoltre, che al progettista sono stati forniti gli esempi di calcolo sotto elencati utilizzati per verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le necessarie verifiche di controllo, i cui dati in ingresso, in essi riportati, potranno essere utilizzati per eventuali confronti con testi specialistici e altri strumenti di calcolo.

- Test01\_Scala con pilastro circolare;
- Archivio confronto Fata\_e;

Il software è dotato di strumenti di autodiagnostica che controllano ed evidenziano, durante le procedure di inserimento dei dati e di elaborazione, eventuali valori non congrui, il cui utilizzo comprometterebbe una corretta elaborazione degli stessi.

Bovalino, 31 marzo 2014.

## Premessa:

Il software **Scala con pilastro circolare** esegue il progetto, il calcolo e le verifiche di scale con pilastro circolare in c.a..

Verra adesso riportata l'elaborazione del test effettuato confrontandolo con i risultati ottenuti con il programma Fata\_e.

Dopo aver eseguito l'analisi dell'esempio di test con il software **Scala con pilastro circolare** che risolve un modello di calcolo semplificato si esegue un'analisi più completa mediante il software Fata\_e che consente l'elaborazione del modello tramite un solutore agli elementi finiti .

Dal confronto del periodo proprio di oscillazione relativo al primo modo di vibrare ottenuto dalle due analisi si valuta l'attendibilità del software **Scala con pilastro circolare** per la modellazione della struttura, essendo tale parametro fondamentale alla risoluzione del problema strutturale in oggetto.

La sequenza delle operazioni eseguite per il test sarà la seguente:

- Input Test01\_Scala con pilastro circolare;
- Analisi delle masse nodali agenti per modello Fata\_e;
- Input Archivio confronto Fata\_e e sintesi relazione di calcolo;
- Analisi risultati calcolo Archivio confronto Fata\_e;
- Confronto tra valori di calcolo periodo proprio di oscillazione relativo al primo modo di vibrare.

## Input Test01 Scala con pilastro circolare

### CALCOLO SCALA CON PILASTRO CENTRALE E GRADINI A SBALZO

#### DATI GENERALI

##### CARICHI

Carico esercizio ripartito..... = 400 daN/mq  
Sovraccarico permanente..... = 100 daN/mq

##### PARAMETRI SISMICI

Tipo di costruzione..... = Opere ordinarie  
Classe d'uso..... = II  
Vita nominale..... = 50  
Suolo di fondazione..... = A  
Categoria topografica..... = T1  
Fattore di struttura (q)..... = 1.5

COORDINATE DEL SITO (Datum ED50): LONGITUDINE: 16.1757° - LATITUDINE:  
38.1510°

Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito

Numero punto	Longitudine [°]	Latitudine [°]
44997	16.1547	38.1523
44998	16.2181	38.1507
45219	16.1527	38.1023
45220	16.2161	38.1008
Dati SLV		
Tempo di ritorno	Accelerazione sismica Ag	Coefficiente Fo
475	0.194	2.398
		Periodo TC*
		0.369

#### GEOMETRIA

Diametro pilastro centrale..... = 60 cm  
Altezza pilastro centrale..... = 300 cm  
Larghezza rampa..... = 100 cm  
Larghezza interna pedata..... = 40 cm  
Larghezza esterna pedata..... = 40 cm  
Alzata gradino..... = 15 cm  
Spessore gradini..... = 15 cm

#### CARATTERISTICHE MATERIALI

Classe calcestruzzo..... = C25/30  
Tipo acciaio..... = B450C

##### CARICHI RIFERITI AL SINGOLO GRADINO

Gradino..... = 150 daN/ml  
Carico permanente (pav. ed int.)..... = 40 daN/ml  
Carico esercizio rip..... = 160 daN/ml  
Fattore di struttura..... = 1.50

## **CALCOLO DINAMICO PILASTRO INCASTRATO AL PIEDE**

Il calcolo viene effettuato per mezzo dell' analisi Dinamica dei sistemi continui (vedi ELEMENTI DI COSTRUZIONI ANTISISMICHE di M. Como - G. Lanni edito da E.S. Cremonese -Roma ), ipotizzando che la massa della pilastro sia uniformemente distribuita lungo l'altezza.

### DATI GEOMETRICI

Diametro..... = 60 cm  
Altezza..... = 300 cm

### DATI DEL PRIMO MODO DI VIBRARE

#### PERIODO PROPRIO DI OSCILLAZIONE DEL PRIMO MODO DI VIBRARE

T1..... = 0.0641 sec

## **Analisi delle masse nodali agenti per modello Fata e;**

Partendo dai carichi riferiti al singolo gradino, si otterranno le masse concentrate ai nodi da inserire nel modello di calcolo di confronto imputato con Fata\_ attraverso la seguente relazione: Massa [KgM]= Peso [Kg] / 9.81[m/s<sup>2</sup>]

### **CARICHI RIFERITI AL SINGOLO GRADINO**

- Gradino = 150 Kg /ml
- Carico permanente (pav. ed int.) = 40 Kg /ml
- Carico esercizio rip . =160 Kg /ml

Da cui si otterranno le seguenti masse nodali

- $Gk1 = 150 \text{ daN/ml} = 150 \text{ Kg /ml} * 1\text{ml} = 150 \text{ Kg} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 15.29 \text{ KgM};$
- $Gk2 = 40 \text{ daN/ml} = 40 \text{ Kg /ml} * 1\text{ml} = 40 \text{ Kg} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 4.07 \text{ KgM};$
- $Qk = 160 \text{ daN/ml} = 160 \text{ Kg /ml} * 1\text{ml} = 160 \text{ Kg} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 16.30 \text{ KgM}$

Dalla relazione  $W_i = G_{1i} + G_{2i} + \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

si ricava la massa nodale applicata ai nodi pari a  $(15.29 + 4.07) * 0.6 * 16.3 \cong 29.14 \text{ KgM};$

## **Input Archivio confronto Fata e e sintesi relazione di calcolo**

### **1 Descrizione del Modello.**

#### **1.1 Modello assunto per il calcolo.**

L'analisi numerica della struttura è stata condotta attraverso l'utilizzo del metodo degli elementi finiti ipotizzando un comportamento elastico-lineare.

Il metodo degli elementi finiti consiste nel sostituire il modello continuo della struttura con un modello discreto equivalente e di approssimare la funzione di spostamento con polinomio algebrico, definito in regioni (dette appunto elementi finiti) che sono delle funzioni interpolanti il valore di spostamento definito in punti discreti (detti nodi).

Gli elementi finiti utilizzabili ai fini della corretta modellazione della struttura verranno descritti di seguito.

Il modello di calcolo può essere articolato sulla base dell'ipotesi di impalcato rigido, in funzione della reale presenza di solai continui atti ad irrigidire tutto l'impalcato.

Tale ipotesi viene realizzata attraverso l'introduzione di adeguate relazioni cinematiche tra i gradi di libertà dei nodi costituenti l'impalcato stesso.

Il metodo di calcolo adottato, le combinazioni di carico, e le procedure di verifica saranno descritte di seguito.

#### **Riferimento globale e locale.**

La struttura viene definita utilizzando una terna di assi cartesiani formanti un sistema di riferimento levogiro, unico per tutti gli elementi e chiamato "globale". Localmente esiste un ulteriore sistema di riferimento, detto appunto "locale", utile alla definizione delle caratteristiche di rigidità dei singoli elementi.

I due sistemi di riferimento sono correlati da una matrice, detta di rotazione.

#### **Modellazione geometrica della struttura.**

Il modello geometrico (mesh) della struttura è basato sull'utilizzo dei seguenti elementi:

##### *- Nodi*

Si definiscono nodi, entità geometriche determinate tramite le tre coordinate nel riferimento globale.

I nodi, nello spazio tridimensionale, posseggono tre gradi di libertà traslazionali e tre rotazionali.

Essi sono posizionati in modo da definire gli estremi degli elementi finiti e, di regola, in ogni discontinuità strutturale, di carico, di caratteristiche meccaniche, di campo di spostamento.

##### *- Vincoli e Molle*

I gradi di libertà possono essere vincolati, bloccando il cinematismo nella direzione voluta o assegnando "molle" applicate ai nodi tramite valori di rigidità finiti.

Un vincolo assegna a priori un valore di spostamento nullo, e quindi la variabile corrispondente viene eliminata.

##### *- Vincoli interni*

Tali vincoli servono a definire le modalità di trasmissione degli sforzi dall'elemento finito ai nodi. Ciò viene associato al concetto di trasferimento della rigidità.

Generalmente l'elemento considerato è rigidamente connesso ai nodi che lo definiscono, in modo da bloccare tutti i gradi di libertà relativi. È possibile, comunque "rilasciare" le caratteristiche delle sollecitazioni, in modo da svincolare i gradi di libertà corrispondenti. Nel caso particolare, il modello utilizzato consente di svincolare le tre rotazioni intorno agli assi locali dell'asta.

##### *- Aste*

Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo delimitate da due nodi (i nodi di estremità).

Per questi elementi generalmente la funzione interpolante è quella del modello analitico per cui la mesh non influisce sensibilmente sulla convergenza.

Le aste sono dotate di rigidezza assiale, flessionale, e a taglio, secondo il modello classico della trave inflessa di Euler-Bernoulli.

Alla singola asta è possibile associare una sezione costante per tutta la sua lunghezza.

#### *- Asta su suolo elastico*

Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo, di definizione simile alle aste. Sono utili a modellare travi di fondazione, considerate poggianti su suolo alla Winkler, e reagenti sia rispetto alle componenti traslazionali di cinematicismo, sia rotazionali.

#### *- Lastra-Piastra*

Si tratta di elementi finiti bidimensionali, definiti da tre o quattro nodi, posti ai vertici rispettivamente di un triangolo o di un quadrilatero irregolare. La geometria reale dell'elemento viene ricondotta ad un triangolo rettangolo (elemento a tre nodi) o ad un quadrato definito nella trattazione isoparametrica.

L'elemento lastra-piastra non ha rigidezza per la rotazione intorno all'asse perpendicolare al suo piano e viene trattato secondo la teoria di Mindlin-Reissner. Nel modello considerato si tiene conto dell'accoppiamento tra azioni flessionali e membranali.

#### *- Forze e coppie concentrate*

Per la risoluzione statica della struttura, tutti i carichi applicati agli elementi vengono trasferiti ai nodi. Ciò avviene in automatico per il peso delle aste, delle piastre, delle pareti, dei pannelli di carico presenti sulle aste e per la distribuzione di carico applicate agli elementi bidimensionali.

Il modello di calcolo consente anche l'introduzione di forze e coppie ai nodi.

Le forze sono dirette lungo le tre direzioni del sistema di riferimento globale ed in entrambi i versi per ogni direzione.

Le coppie concentrate sono riferite ai tre assi del riferimento globale, in entrambi i versi di rotazione di ciascun asse.

#### *- Carichi distribuiti*

Il modello di calcolo consente anche l'introduzione di carichi ripartiti sulle aste e di distribuzione di carico su piastre e pareti.

I carichi ripartiti sulle aste possono essere riferite sia al riferimento globale, sia al riferimento locale, lungo le tre direzioni ed in entrambe i versi. E' possibile anche introdurre carichi distribuiti torcenti agenti intorno all'asse dell'asta ed in entrambe i versi di rotazione.

Tutti i tipi di carico ripartito devono avere forma trapezia.

Sugli elementi bidimensionali, che fanno parte della mesh di piastre e pareti, è possibile assegnare una distribuzione uniforme, avente le caratteristiche di una pressione diretta ortogonalmente all'elemento.

#### *- Pannelli di carico*

Il pannello di carico è un concetto legato alla reale distribuzione di carichi gravanti sulle aste. Ne fanno parte: solai, balconi, scale.

Da tali pannelli, di forma irregolare come definiti dalla geometria dell'input, si passa alla quantificazione dei carichi trapezoidali ripartiti sulle aste. Per meglio simulare l'effetto dei pannelli, vengono generati in modo automatico anche dei carichi ripartiti torcenti, anch'essi di forma trapezia, relativi ai carichi distribuiti equivalenti al pannello.

#### *- Sezioni*

Le sezioni assegnabili alle aste sono definite attraverso le caratteristiche geometrico-elastiche, i moduli di resistenza plasticci (sezioni in acciaio) ed il materiale.

## **Materiali.**

I materiali, ai fini del calcolo delle sollecitazioni, sono considerati omogenei ed isotropi e sono definiti dalle seguenti caratteristiche: peso per unità di volume, modulo elastico, coefficiente di Poisson, coefficiente di dilatazione, e tutte le caratteristiche meccaniche, riepilogate in seguito, utili alle verifiche strutturali dettate dalla normativa.

## **Matrici di calcolo della struttura.**

Dalla discretizzazione geometrica della struttura vengono definite le matrici utili a studiare il comportamento globale della struttura in esame.

### *- Matrice di rigidezza*

Tale matrice viene costruita partendo dalla matrice di rigidezza espressa nel sistema di riferimento locale dell'elemento considerato. Attraverso un'operazione di trasformazione, mediante la matrice di rotazione, viene riferita al sistema di riferimento globale. L'ultima operazione consiste nell'"assemblaggio" delle singole matrici di ogni elemento, in modo da formare un'unica matrice relativa all'intera struttura.

### *- Matrice delle masse*

La generazione della matrice globale è del tutto analoga a quella sopra descritta per la matrice di rigidezza. La matrice delle masse è di tipo "consistent" e considera l'effettiva distribuzione delle masse della struttura. Come definito dalla normativa, alle masse relative ai carichi permanenti, viene aggiunta un'aliquota delle masse equivalenti ai carichi d'esercizio.

## **1.2 Tipo di calcolo.**

### **ANALISI ORIZZONTALE DINAMICA LINEARE**

Il calcolo risolutivo della struttura è stato effettuato utilizzando un sistema di equazioni lineari (di dimensioni pari ai gradi di libertà), secondo la relazione:

$$\underline{u} = [\underline{K}]^{-1} \underline{F}$$

dove:  $\underline{F}$  = vettore dei carichi risultanti applicate ai nodi;  
 $\underline{u}$  = vettore dei cinematicismi nodali;  
 $[\underline{K}]$  = matrice di rigidezza globale.

Tale analisi è stata ripetuta per tutte le condizioni presenti sulla struttura, identificati dai vettori dei carichi relativi a:

- carichi permanenti;
- carichi d'esercizio;
- delta termico;
- torsioni accidentali;
- carichi utente;

I valori delle eccentricità accidentali per le torsioni sono i seguenti:

Torsioni Accidentali		
Imp. Reale	$e_x$ [cm]	$e_y$ [cm]
1	0.0	0.0

Per ogni impalcato reale si riportano i dati relativi alle rigidezze e ai baricentri:

	Rigidezze	Centro Massa	Centro Rigidezza

Imp. Reale	Rig X [KN/cm]	Rig Y [KN/cm]	Rig. Tors. [KNcm]	X [cm]	Y [cm]	xR [cm]	yR [cm]
1	218	218	0	0.0	0.0	0.0	0.0

L'analisi sismica nella componente orizzontale è basata sulla teoria ed i concetti propri dell'analisi modale.

L'analisi modale consente di determinare le oscillazioni libere della struttura discretizzata.

Tali modi di vibrare sono legati agli autovalori e autovettori del sistema dinamico generalizzato, che può essere riassunto in:

$$[\underline{K}] \{a\} = \omega^2 [\underline{M}] \{a\}$$

dove:  $[\underline{K}]$  = matrice di rigidezza globale  
 $[\underline{M}]$  = matrice delle masse globale  
 $\{a\}$  = autovettori (forme modali)  
 $\omega^2$  = autovalori del sistema generalizzato

La frequenza ( $f$ ) dei modi di vibrare è calcolata come:

$$f = \omega / 2\pi$$

Il periodo ( $T$ ) è calcolato come:

$$T = 1 / f$$

Utilizzando il vettore di trascinamento " $\underline{d}$ " (o di direzione di entrata del sisma) calcoliamo i "fattori di partecipazione modali"

( $\Gamma_i$ ):

$$\Gamma_i = \underline{\phi}_i^T [\underline{M}] \underline{d}$$

dove:  $\underline{\phi}_i$  = autovettori normalizzati relativi al modo  $i$ -esimo

Per ogni direzione del sisma vengono scelti i modi efficaci al raggiungimento del valore imposto dalla normativa (85%).

Il parametro di riferimento è il "fattore di partecipazione delle masse", la cui formulazione è:

$$\Lambda_{xi} = \Gamma_i^2 / M_{tot}$$

I cinematismi modali vengono calcolati come:

$$\underline{u} = \Gamma_i S_d(T_i) / \omega_i^2$$

dove:  $S_d(T_i)$  = ordinata spettro di risposta orizzontale o verticale.  
 $\omega^2$  = autovalore del modo  $i$ -esimo

Gli effetti relativi ai modi di vibrare, vengono combinati utilizzando la combinazione quadratica completa (CQC):

$$E = \sqrt{(\sum_i \sum_j \rho_{ij} E_i E_j)}$$

dove:  $\rho_{ij} = (8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2}) / ((1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij}^2) + 8\xi^2 \beta_{ij}^2)$  coefficiente di correlazione tra il modo  $i$ -esimo ed il modo  $j$ -esimo;

$\xi$  = coefficiente di smorzamento viscoso;  
 $\beta_{ij}$  = rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia di modi ( $f_i / f_j$ )  
 $E_i E_j$  = effetti considerati in valore assoluto.

La condizione "Torsione Accidentale" contiene il momento torcente generato dalla forza sismica di piano per il braccio pari al 5% della dimensione massima dell'ingombro in pianta nella direzione ortogonale a quella considerata.

Il primo modo di vibrare del calcolo in oggetto e il seguente:

Modo	Direzione X			Direzione Y		
	f [Hz]	T [s]	$\Delta x \%$	f [Hz]	T [s]	$\Delta y \%$
1	16.288	<b>0.061</b>	62.8	16.288	<b>0.061</b>	62.8

### 1.3 Condizioni di carico valutate

#### Dati Condizioni.

Nella seguente tabella vengono riportati i dati per la definizione delle condizioni di carico:

Azione	Tipo	Durata
Car. perm. strutt. (Gk1)	C.Perm. (Gk)	Permanente
Car. perm. non strutt. (Gk2)	C.p. non str. (Gk2)	Permanente
Carichi d'esercizio (Qk)	C. Ese. (Qk)	Lunga
$\Delta t$	Carico termico	Breve
Torsione Accidentale X	Azione sismica	Istantanea
Torsione Accidentale Y	Azione sismica	Istantanea
Sisma X	Azione sismica	Istantanea
Sisma Y	Azione sismica	Istantanea
Sisma Z	Azione sismica	Istantanea

#### Coefficienti di combinazione.

Nella seguente tabella vengono riportati i coefficienti di combinazione ( $\Psi_{0i}$ ,  $\Psi_{1i}$ ,  $\Psi_{2i}$ ), dettati dalle normative, relativi agli stati limite ultimi e di danno:

Impalcato	Destinazione	Altre azioni			Delta termico		
		$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
Fondazione	C - Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5	0.0
Piano 1	C - Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5	0.0

Tutte le combinazioni sono da intendersi come somma dell'effetto considerato. Tali combinazioni vengono considerate sovrapponendo i diagrammi secondo la tecnica dell'inviluppo.

#### Combinazioni per le verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Le azioni di calcolo presenti sulla struttura e le relative combinazioni di carico nei riguardi degli stati limite di salvaguardia della vita essere riassunte nelle seguenti tabelle:

Combinazione	Elementi della Struttura									
	Condizione									
	Car.	Car.	Carichi	$\Delta t$	Torsione	Torsione	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z	

	perm. strutt. (Gk1)	perm. non strutt. (Gk2)	d'esercizio (Qk)		Accidentale X	Accidentale Y			
1*	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	0	0	0	0	0	0
2*	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$\Psi 0\gamma Qns$	0	0	0	0	0
3*	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$-\Psi 0\gamma Qns$	0	0	0	0	0
4*	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$\gamma Qns$	0	0	0	0	0
5*	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$-\gamma Qns$	0	0	0	0	0
6	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	1	0	1	0	0
7	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	-1	0	1	0	0
8	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	1	0	-1	0	0
9	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	-1	0	-1	0	0
10	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	1	0	1	0
11	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	-1	0	1	0
12	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	1	0	-1	0
13	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	-1	0	-1	0

\*Combinazione fondamentale (par. 2.5.3, formula 2.5.1)

### Combinazioni per le verifiche allo Stato Limite di Danno

Le azioni di calcolo presenti sulla struttura e le relative combinazioni di carico nei riguardi degli stati limite di danno possono essere riassunte nelle seguenti tabelle:

Combinazione	Elementi della Struttura								
	Condizione								
	Car. perm. strutt. (Gk1)	Car. perm. non strutt. (Gk2)	Carichi d'esercizio (Qk)	Δt	Torsione Accidentale X	Torsione Accidentale Y	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z
1	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	0	0	0	0	0	0
2	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$\Psi 0\gamma Qns$	0	0	0	0	0
3	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$-\Psi 0\gamma Qns$	0	0	0	0	0
4	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$\gamma Qns$	0	0	0	0	0
5	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$-\gamma Qns$	0	0	0	0	0
6	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	1	0	1	0	0
7	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	-1	0	1	0	0
8	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	1	0	-1	0	0
9	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	-1	0	-1	0	0
10	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	1	0	1	0
11	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	-1	0	1	0
12	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	1	0	-1	0
13	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\Psi 2\gamma Qs$	0	0	-1	0	-1	0

I coefficienti utilizzati assumono i seguenti valori:

Elemento	SLV						SLD					
	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\gamma Qs$	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$\gamma G1s$	$\gamma G2s$	$\gamma Qs$
Struttura	1.3	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

### Combinazioni per le verifiche allo Stato limite di esercizio

Le azioni di calcolo presenti sulla struttura e le relative combinazioni di carico nei riguardi degli stati limite di esercizio possono essere riassunte nelle seguenti tabelle:

Combinazioni Caratteristiche:

Combinazione	Elementi della Struttura			
	Condizione			
	Car. perm.	Car. perm.	Carichi	Δt

	<b>strutt. (Gk1)</b>	<b>non strutt. (Gk2)</b>	<b>d'esercizio (Qk)</b>	
<b>1</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$\Psi 0\gamma Qns$
<b>2</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\gamma Qns$	$-\Psi 0\gamma Qns$
<b>3</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$\gamma Qns$
<b>4</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 0\gamma Qns$	$-\gamma Qns$

Combinazioni Frequenti:

<b>Elementi della Struttura</b>				
<b>Combinazione</b>	<b>Condizione</b>			
	<b>Car. perm. strutt. (Gk1)</b>	<b>Car. perm. non strutt. (Gk2)</b>	<b>Carichi d'esercizio (Qk)</b>	<b><math>\Delta t</math></b>
<b>1</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 1\gamma Qns$	$\Psi 2\gamma Qns$
<b>2</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 1\gamma Qns$	$-\Psi 2\gamma Qns$
<b>3</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 2\gamma Qns$	$\Psi 1\gamma Qns$
<b>4</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 2\gamma Qns$	$-\Psi 1\gamma Qns$

Combinazioni quasi permanenti :

<b>Elementi della Struttura</b>				
<b>Combinazione</b>	<b>Condizione</b>			
	<b>Car. perm. strutt. (Gk1)</b>	<b>Car. perm. non strutt. (Gk2)</b>	<b>Carichi d'esercizio (Qk)</b>	<b><math>\Delta t</math></b>
<b>1</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 2\gamma Qns$	$\Psi 2\gamma Qns$
<b>2</b>	$\gamma G1ns$	$\gamma G2ns$	$\Psi 2\gamma Qns$	$-\Psi 2\gamma Qns$

I coefficienti utilizzati assumono i seguenti valori:

<b>SLE</b>															
<b>Elemento</b>	<b>Caratteristiche</b>					<b>Frequenti</b>					<b>Q. Permanent</b>				
	$\gamma Gns$	$\gamma Qns$	$\gamma I$	$\gamma EG$	$\gamma EQ$	$\gamma Gns$	$\gamma Qns$	$\gamma I$	$\gamma EG$	$\gamma EQ$	$\gamma Gns$	$\gamma Qns$	$\gamma I$	$\gamma EG$	$\gamma EQ$
Struttura	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tali combinazioni vengono considerate sovrapponendo i diagrammi secondo la tecnica dell'inviluppo.

## 1.4 Procedura di Verifica degli elementi.

## 2 Dati

### 2.1 Dati Generali

Numero Impalcati : 1

Numero delle tipologie di sezioni trasversali usate : 1

<b>Impalcato</b>	<b>Quota assoluta min [cm]</b>	<b>Quota assoluta max [cm]</b>	<b>Quota relativa min [cm]</b>	<b>Quota relativa max [cm]</b>	<b>Numero Colonne</b>	<b>Numero Travi</b>
<b>Fondazione</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
<b>Piano 1</b>	0.00	300.00	300.00	300.00	1	0

Coordinate (Datum WGS84) del sito : Latitudine = 38.1500° - Longitudine = 16.1749°  
 Coordinate (Datum ED50) del sito : Latitudine = 38.1510° - Longitudine = 16.1757°

Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito		
Numeri punto	Latitudine [°]	Longitudine [°]
44997	38.1523	16.1547
44998	38.1507	16.2181
45219	38.1023	16.1527
45220	38.1008	16.2161

Zona sismica	: SI
Suolo di fondazione	: A
Vita nominale	: 50
Classe di duttilità	: B
Tipo di opera	: Opere ordinarie
Classe d'uso	: II
Vita di riferimento	: 50
Categoria topografica	: T1
Coefficiente smorzamento viscoso	: 0.05

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale							
	SLV	SLC	SLD	SLO	x	y	x	y
Tempo di ritorno	475	975	51	31				
Accelerazione sismica	0.194	0.260	0.065	0.050				
Coefficiente Fo	2.398	2.414	2.347	2.348				
Periodo T <sub>c</sub> *	0.369	0.389	0.303	0.278				
Coefficiente Ss	1.00	1.00	1.00	1.00				
Coefficiente di amplificazione topografica St	1.00	1.00	1.00	1.00				
Prodotto Ss · St	1.00	1.00	1.00	1.00				
Periodo T <sub>B</sub>	0.12	0.13	0.10	0.09				
Periodo T <sub>C</sub>	0.37	0.39	0.30	0.28				
Periodo T <sub>D</sub>	2.38	2.64	1.86	1.80				
	x	y	x	y	x	y	x	y
Coefficiente η	0.667	0.667	1.000	1.000	*	*	*	*

\* η pari a 1 per gli spostamenti e 2/3 per le sollecitazioni.

#### - FATTORI DI STRUTTURA -

Fattore di struttura in direzione x (qx)	: 1.50
Fattore di struttura in direzione y (qy)	: 1.50

## 2.2 Elenco e Caratteristiche dei materiali.

Nell'ambito del progetto si è fatto uso dei seguenti materiali divisi per categoria di appartenenza:

### a - Calcestruzzo

Nom e	Class e	Rck [daN/c m <sup>2</sup> ]	v	ps [daN/m <sup>3</sup> ]	σt [1/ <sup>o</sup> C]	Ec [daN/c m <sup>2</sup> ]	F C	γm, c	Ect/E c	fck [daN/c m <sup>2</sup> ]	fcm [daN/c m <sup>2</sup> ]	fcd SLU [daN/c m <sup>2</sup> ]	fctd SLU [daN/c m <sup>2</sup> ]	fcd SLD [daN/c m <sup>2</sup> ]	fctd SLD [daN/c m <sup>2</sup> ]	fck,0.0 5 [daN/c m <sup>2</sup> ]	fctm [daN/c m <sup>2</sup> ]	εc2 [%]	εcu [%]
Cl1	C25/30	300	0.15	2500.00	1.0E-005	314758.06	-	1.50	0.50	250.00	-	141.67	11.97	212.50	17.95	17.95	25.65	2.00	3.50

### b - Acciaio per C.A.

Nome	Tipo	γm	FC	Es [daN/cm <sup>2</sup> ]	fyk [daN/cm <sup>2</sup> ]	ftk [daN/cm <sup>2</sup> ]	fd SLU [daN/cm <sup>2</sup> ]	fd SLD [daN/cm <sup>2</sup> ]	fd SLE [daN/cm <sup>2</sup> ]	k	εud [%]
Barre1	B450C	1.15	-	2100000.00	4500.00	5400.00	3913.04	4500.00	3913.04	1.00	10.00

## 2.3 Elenco dei carichi.

### 2.3.1 Pesi propri unitari - G1.

Impalcato	Solai [daN/m <sup>2</sup> ]	Balconi [daN/m <sup>2</sup> ]	Scale [daN/m <sup>2</sup> ]
Fondazione	-	-	375
Piano 1	-	-	375

- Analisi dei Carichi -

### 2.3.2 Carichi Permanenti unitari - G2.

Impalcato	Solai [daN/m <sup>2</sup> ]	Balconi [daN/m <sup>2</sup> ]	Scale [daN/m <sup>2</sup> ]	Influenza Tramezzi [daN/m <sup>2</sup> ]	Tamponature [daN/m]
Fondazione	0	0	0	0	0
Piano 1	0	0	100	0	0

### 2.3.3 Carichi Variabili unitari - Q.

Le intensità assunte per i carichi variabili verticali ripartiti sono riportate nella seguente tabella:

Impalcato	Carichi d'esercizio [daN/m <sup>2</sup> ]		
	Solai	Balconi	Scale
Fondazione	0	0	400
Piano 1	0	0	400

### 2.3.4 Pesi Impalcati.

Ai fini della valutazione dei pesi 'W' a livello dei vari impalcati, si tiene conto dei carichi di tipo G1 relativi agli elementi strutturali e dei carichi di tipo G2 relativi agli elementi non strutturali sommati ai sovraccarichi d'esercizio Qk moltiplicati per una aliquota  $\Psi_{2i}$  (determinata dalla destinazione d'uso dell'opera ai vari piani

$$W_i = G1_i + G2_i + \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Dove il pedice 'i' è il piano i-esimo della struttura.

Impalcato	Destinazione	$\Psi_{2i}$
Fondazione	C - Ambienti suscettibili di affollamento	0.6
Piano 1	C - Ambienti suscettibili di affollamento	0.6

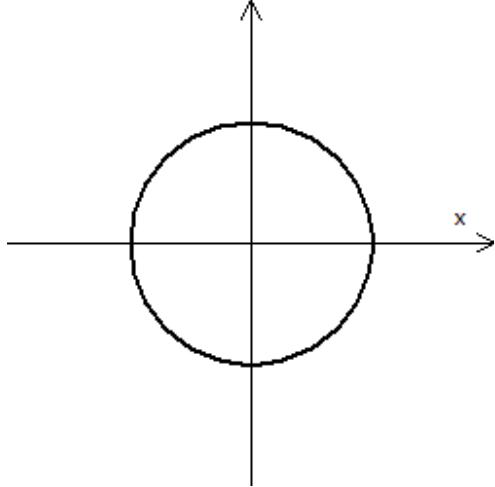
Per balconi e scale verranno usati i coefficienti calcolati come i maggiori tra quelli relativi alla categoria di carico di piano ed i seguenti:

Cat.	Destinazione	$\Psi_{2i}$
C2	Balconi, ballatoi e scale	0.6

Imp. Reale	G1 [daN]	G2 [daN]	$\Psi_2 \cdot Q_k$ [daN]	W (SLV-SLD) [daN]
0	3568.37	0.00	0.00	3568.37
1	4244.77	0.00	0.00	4244.77

## 2.4 Elenco e Caratteristiche delle sezioni trasversali.

**Tipologia N.1 (Generica poligonale)**



A	= 2798 cm <sup>2</sup>
Jx	= 622835 cm <sup>4</sup>
Jy	= 622835 cm <sup>4</sup>
Jt	= 1245671 cm <sup>4</sup>
E	= 314758 daN/cm <sup>2</sup>
G	= 136851 daN/cm <sup>2</sup>
Peso	= 699 daN/ml
$\alpha T$	= 0.000010 1/°C

## 2.5 Geometria Struttura.

### 2.5.1 Fili Fissi.

Numero : numerazione del filo fisso.

Ascissa : coordinata X del filo fisso.

Ordinata: coordinata Y del filo fisso.

Angolo : angolo del filo fisso (in gradi);

Tipo : tipo del filo fisso.

Numero	Ascissa [cm]	Ordinata [cm]	Quota [cm]	Angolo [°]	Tipo
1	0.00	0.00	0.00	0.00	5

### 2.5.2 Caratteristiche dei nodi.

I dati seguenti riportano tutte le caratteristiche relative ai nodi che definiscono la struttura ed in modo particolare:

Nodo : numerazione interna del nodo.

Coordinate : coordinate del nodo secondo il sistema di riferimento globale cartesiano.

Imp. : impalcato di appartenenza del nodo.

Slave : nodo dipendente da un nodo MASTER definito nella tabella specifica;

Vincoli : eventuali vincoli esterni del nodo in ognuna delle 6 direzioni;

x : direzione X rispetto al sistema di riferimento globale;  
 y : direzione Y rispetto al sistema di riferimento globale;  
 z : direzione Z rispetto al sistema di riferimento globale;  
 Rx : rotazione attorno all'asse X del sistema di riferimento globale;  
 Ry : rotazione attorno all'asse Y del sistema di riferimento globale;  
 Rz : rotazione attorno all'asse Z del sistema di riferimento globale;

Inoltre:

np : non presenza di vincoli;  
 p : valore infinito della rigidezza;  
 Kt : valore finito delle rigidezze traslazionali da leggere nella tabella specifica;  
 Kr : valore finito delle rigidezze rotazionali da leggere nella tabella specifica;

Massa Nodali:

M : valore della massa traslazionale  
 MIx : valore del momento d'inerzia della massa attorno all'asse X  
 MIy : valore del momento d'inerzia della massa attorno all'asse Y  
 MIZ : valore del momento d'inerzia della massa attorno all'asse Z

Nodo	Coordinate [cm]	Impalcato	Slave	Vincoli						Massa Nodali			
				x	y	z	Rx	Ry	Rz	M [daNM]	MIx [daNM*cm <sup>2</sup> ]	MIy [daNM*cm <sup>2</sup> ]	MIZ [daNM*cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.0	0.0	Fondazione	-	p	p	p	p	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.0	0.0	300.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
3	0.0	0.0	285.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
4	0.0	0.0	270.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
5	0.0	0.0	255.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
6	0.0	0.0	240.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
7	0.0	0.0	225.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
8	0.0	0.0	210.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
9	0.0	0.0	195.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
10	0.0	0.0	180.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
11	0.0	0.0	165.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
12	0.0	0.0	150.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
13	0.0	0.0	135.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
14	0.0	0.0	120.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
15	0.0	0.0	105.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
16	0.0	0.0	90.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
17	0.0	0.0	75.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
18	0.0	0.0	60.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
19	0.0	0.0	45.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
20	0.0	0.0	30.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00
21	0.0	0.0	15.0	Piano 1	-	np	np	np	np	29.14	0.00	0.00	0.00

### 2.5.3 Caratteristiche delle aste.

La tabella seguente riporta tutte le caratteristiche relative alle aste della struttura ed in modo particolare la colonna:

Asta : numerazione dell'asta  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene l'asta  
 Nodo In. : nodo iniziale dell'asta  
 Nodo Fin. : nodo finale dell'asta  
 Tipo : funzione dell'asta  
 Sez. : sezione trasversale associata all'asta  
 L : lunghezza teorica (nodo-nodo) dell'asta

Imp. : impalcato di appartenenza dell'asta  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Asta	Fili	Nodo In.	Nodo Fin.	Tipo	Sez.	L [cm]	Imp.	Kwn [daN/cm³]	Kwt [daN/cm³]	Vincoli interni											
										Estremo In.					Estremo Fin.						
1	20	21	1	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	SpoX	SpoY	SpoZ	RotX	RotY	RotZ	SpoX	SpoY	SpoZ	RotX	RotY	RotZ
2	1	2	3	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	2	3	4	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	3	4	5	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	4	5	6	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	5	6	7	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	6	7	8	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	7	8	9	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
9	8	9	10	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	9	10	11	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	10	11	12	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12	11	12	13	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13	12	13	14	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	13	14	15	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	14	15	16	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
16	15	16	17	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
17	16	17	18	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	17	18	19	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
19	18	19	20	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	19	20	21	Pilastro	1	15.00	Piano 1	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

## 2.5.4 Carichi distribuiti sugli elementi.

### Carichi Globali Aste

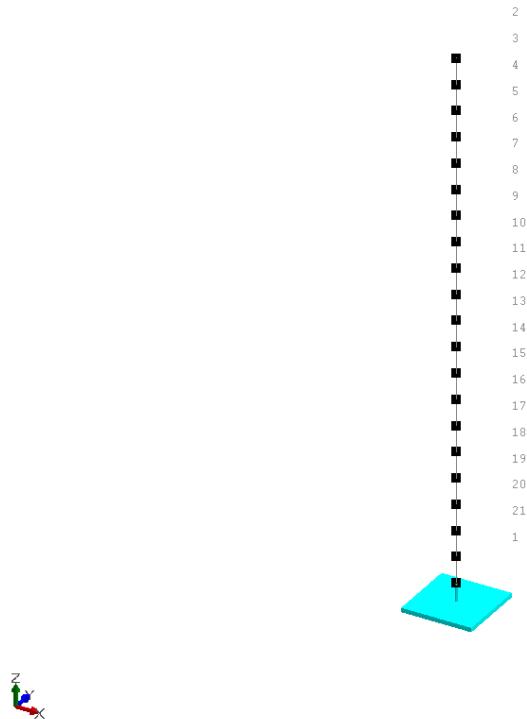
Asta : numero dell'asta come da paragrafo 'Caratteristiche delle aste';  
 Imp. : impalcato al quale appartiene l'asta;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene l'asta;  
 C.C. : condizione di carico come da paragrafo 'Condizioni di carico valutate';  
 DGlob : direzione dei carichi secondo il sistema di riferimento globale dell'asta;  
 in : valore del carico distribuito relativo al nodo iniziale come da paragrafo 'Caratteristiche delle aste';  
 fin : valore del carico distribuito relativo al nodo finale come da paragrafo 'Caratteristiche delle aste'.

Ast	Imp.	Fili	C.C.	DGlob X [daN/m]		DGlob Y [daN/m]		DGlob Z [daN/m]	
				in.	fin.	in.	fin.	in.	fin.
1	Piano 1	20	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
2	Piano 1	1	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
3	Piano 1	2	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
4	Piano 1	3	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
5	Piano 1	4	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
6	Piano 1	5	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
7	Piano 1	6	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
8	Piano 1	7	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
9	Piano 1	8	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40

10	Piano 1	9	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
11	Piano 1	10	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
12	Piano 1	11	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
13	Piano 1	12	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
14	Piano 1	13	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
15	Piano 1	14	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
16	Piano 1	15	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
17	Piano 1	16	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
18	Piano 1	17	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
19	Piano 1	18	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40
20	Piano 1	19	Car. Perm. G1	0.00	0.00	0.00	0.00	-699.40	-699.40

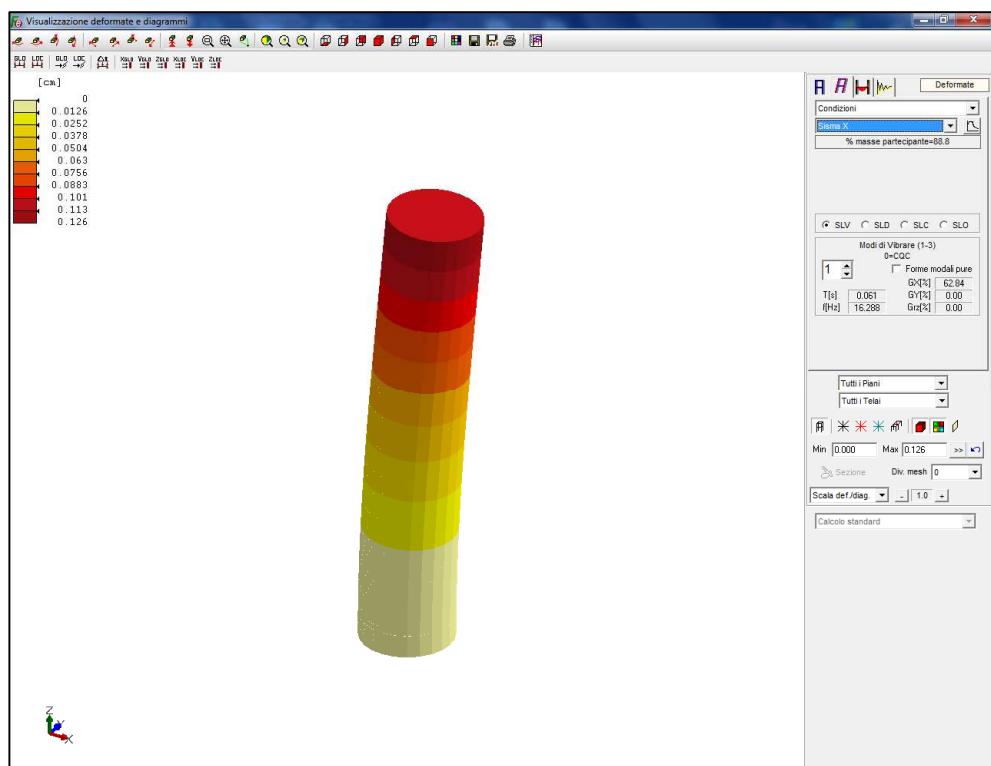
### **Analisi risultati calcolo Archivio confronto Fata e;**

Si è modellato la struttura costituita dalla scala su pilastro circolare come un pilastro incastrato alla base suddividendolo in tanti elementi ed inserendo tanti nodi interni in numero pari ai gradini presenti.

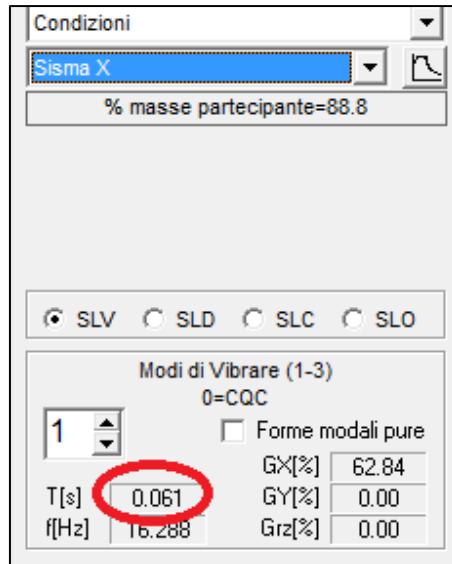


Valutate le masse concentrate ai nodi ed inserite nel modello di calcolo si è proceduto quindi all'analisi ottenendo i seguenti risultati:

Condizione  
Sisma X



In particolare si ha:



### Confronto tra valori di calcolo periodo proprio di oscillazione relativo al primo modo di vibrare

$$\text{Differenza \%} = |(0.0610 - 0.0641)| / 0.0641 = 4.83 \%$$