Cilc per tutti gli appunti ***(AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI…)***

e-mail per suggerimenti

SEMPLICE ESEMPIO NUMERICO DI ANALISI LINEARE STATICA

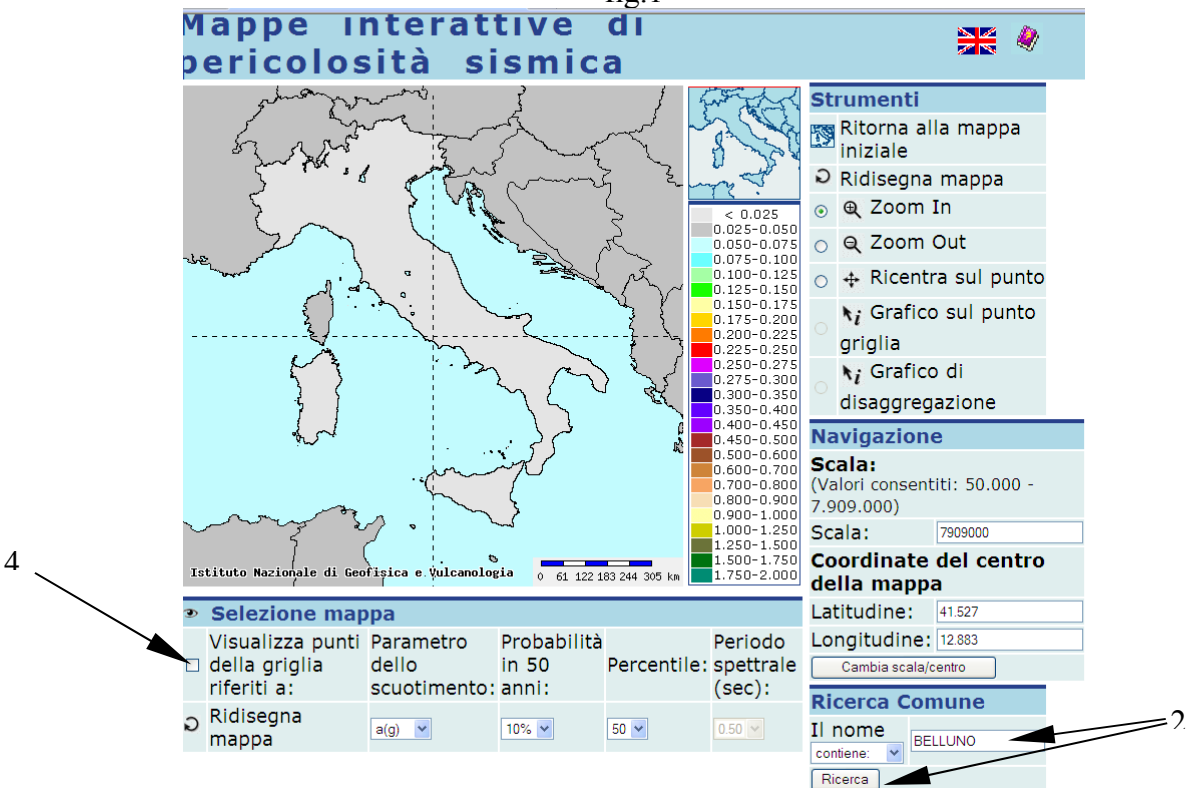
Nel paragrafo 13.3.1 degli appunti sulle "AZIONI SISMICHE" è stato trattato l'argomento riguardante "**l'analisi lineare statica".** Si vuole qui chiarire con un esempio numerico il metodo di calcolo, prendendo in considerazione un semplice edificio in muratura ordinaria, regolare in altezza e in pianta che , per ipotesi, debba subire un determinato adeguamento sismico. Il calcolo si limita alla determinazione delle spinte sismiche di piano e degli sforzi taglianti.

Determinazione del codice di identificazione ID e delle coordinate geografiche

Per definire la pericolosità sismica del sito ove risiede l'edificio occorre conoscere le sue coordinate geografiche. Il sito è contornato da una griglia i cui nodi hanno una identificazione geografica **ID** riportata nella **tabella 1** dell'allegato **B** del DM 2008. In questa, in corrispondenza di ogni **ID** sono indicati i parametri di pericolosità sismica a_g, F_0, T_C^*

1° Collegarsi al sito http://esse1-gis.mi.ingv.it/ . Si ottiene:

fig.1

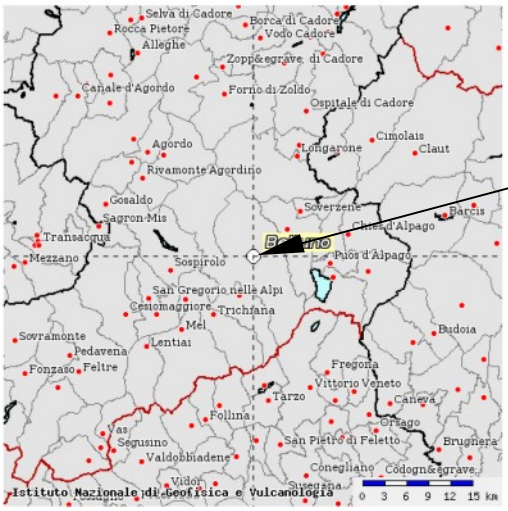


2° digitare il nome del comune del sito nel campo "**Ricerca Comune"** (ad esempio BELLUNO) e clic su **Ricerca;** si ottengono i luoghi che possono possedere lo stesso nome

fig.2

3° fare clic sul comune desiderato, e questo compare nella mappa

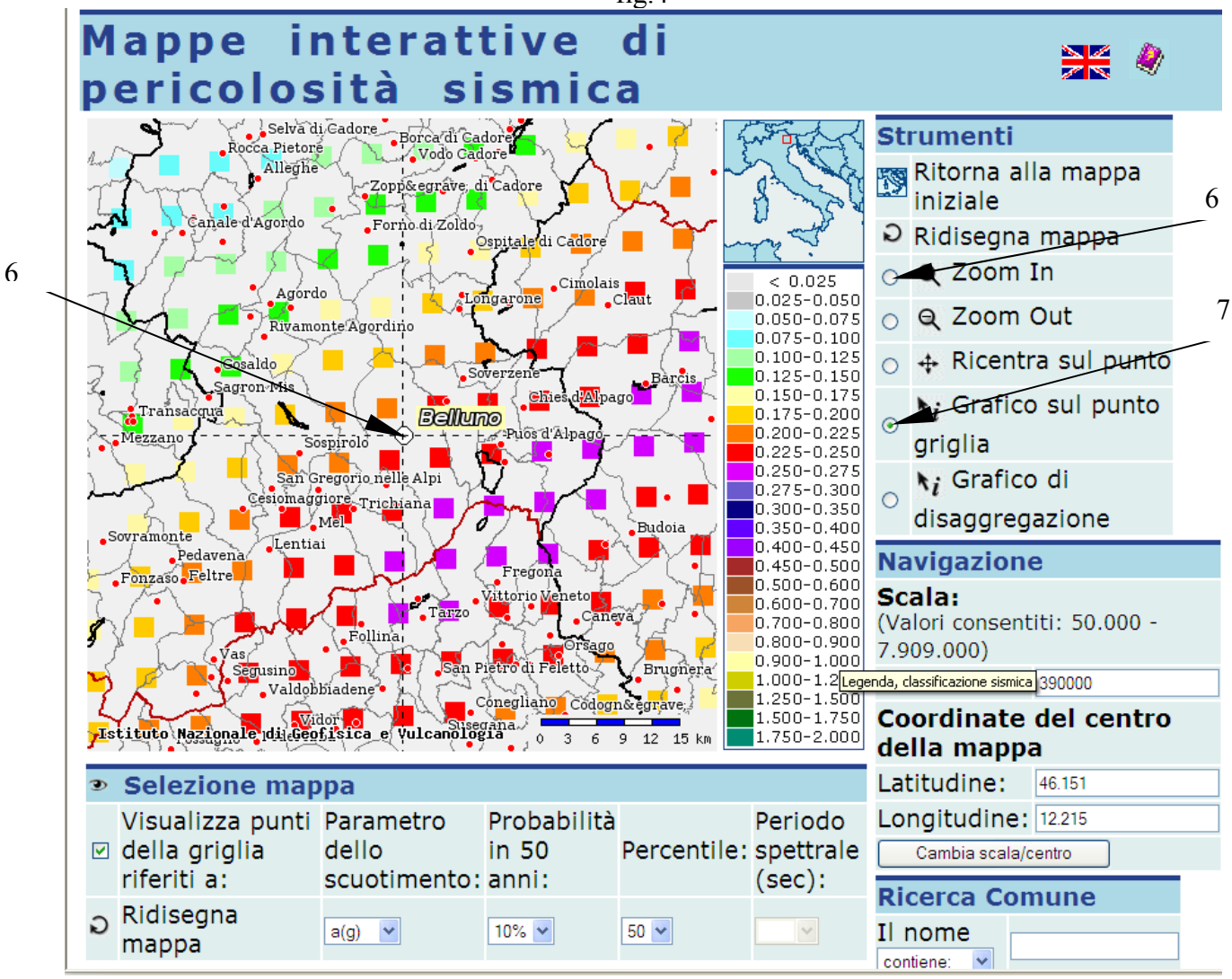
fig.3



4° selezionare con un clic "**Visualizza punti della griglia riferiti a"** (generalmente è selezionato il parametro **a(g)**)

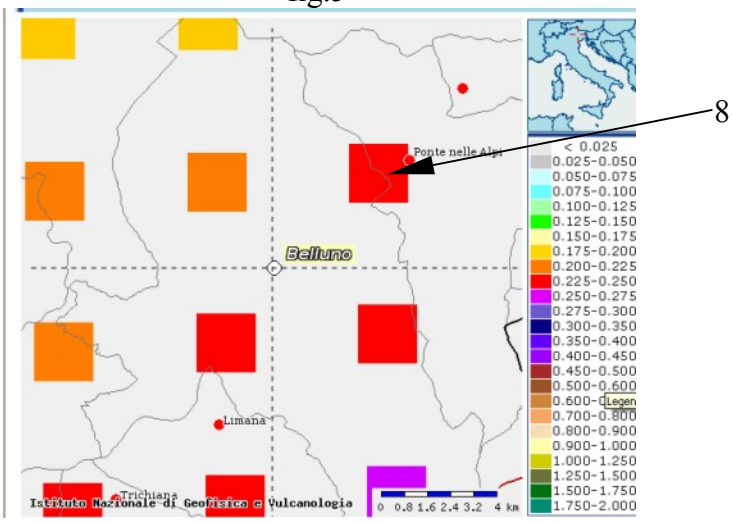
5° fare clic sul comune rappresentato nella mappa e compare la **griglia** dei **Codici** di **Identificazione** delle coordinate geografiche

fig.4



6° selezionato **Zoom In** si può ingrandire la scala della griglia facendo ancora clic sul punto di identificazione del comune

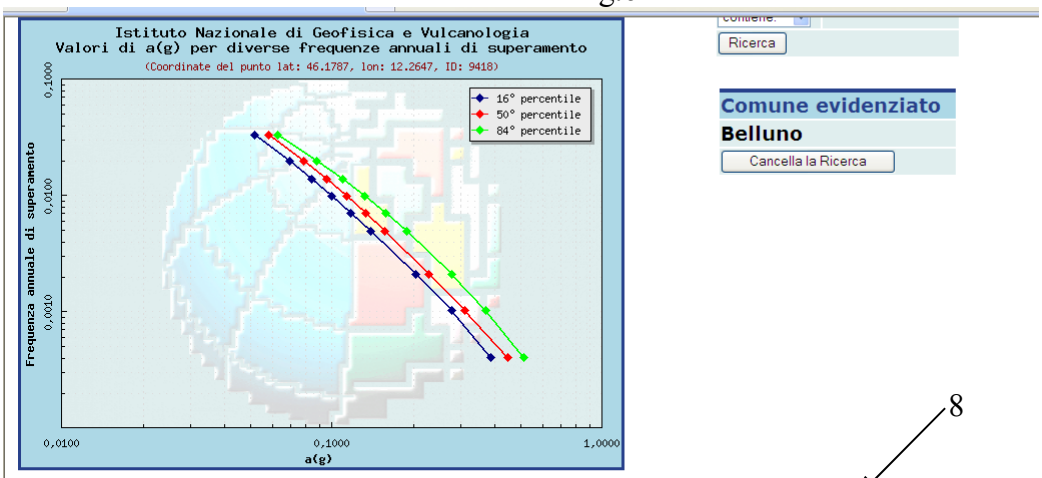
fig.5



7° Ora si possono determinare le coordinate geografiche e il codice ID di ciascun nodo della griglia che contorna il comune, selezionando **"Grafico sul punto griglia"**

8° fare clic sul centro del nodo rappresentato da un quadretto (ad esempio in alto a destra) e si visualizzano i valori di **a(g),** e, nell'intestazione della tabella, le coordinate geografiche del nodo della griglia selezionato con il codice di identificazione **ID** che è riportato nella **tabella 1** dell'allegato del DM 2008. Nel caso in esame:
(Coordinate del punto lat:46.1787, lon:12.2647, ID:9418)

fig.6



8

Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 46.1787, lon: 12.2647, ID: 9418)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.3870	0.4454	0.5130
0.0010	0.2779	0.3093	0.3705
0.0021	0.2046	0.2286	0.2778
0.0050	0.1390	0.1570	0.1885
0.0071	0.1172	0.1328	0.1572

In tal modo nel file **pdf. Del DM 2008** in corrispondenza della ID:9418 si possono determinare i parametri di pericolosità sismica del nodo: a_g, F_0, T_C^*

CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO E DEL SOTTOSUOLO

Si suppone che l'edificio che deve subire l'adeguamento sismico risieda a BELLUNO

1 - Caratteristiche del fabbricato e del sottosuolo

Il fabbricato è con uso d'abitazione.

1.1 - Classe d'uso:

Punto 2.4.2 DM 2008

CLASSE II

1.2 - Condizioni topografiche

Si suppone che la superficie del terreno su cui è posto l'edificio sia pianeggiante.

Tabella 3.2.IV DM 2008

CONDIZIONE TOPOGRAFICA **T1**

1.3 - Vita nominale

si tratta di un'opera ordinaria.

Tabella 2.4.I DM2008

VITA NOMINALE ≥ 50 anni

Si pone $V_N = 50$ anni

1.4 - Periodo di riferimento dell'azione sismica

Si ottiene moltiplicando la vita nominale per il coefficiente C_U, dipendente dalla classe d'uso.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per la CLASSE II **Tabella 2.4.II** DM2008

$$C_U = 1.0$$

$$V_R = 50 \cdot 1$$

$$V_R = 50 \text{ anni}$$

1.5 - Categoria del sottosuolo

Supposto che la prova penetrometrica abbia fornito:

$$N_{SPT} = 35$$

il sottosuolo si può classificare nella categoria:

Tabella 2.4.II DM2008

CATEGORIA **C**

1.5 - probabilità di superamento del periodo di riferimento

Dipende dallo stato limite considerato; a ciascuno di essi è associata una particolare probabilità P_{V_R} di superamento del periodo di riferimento V_R

Tabella 3.2.1

Stati limite		Probabilità P_{V_R} di superamento del periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Si consideri come esempio lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita **SLV**

$P_{V_R} = 10\%$ $P_{V_R} = 0{,}1$

2 - Parametri della pericolosità sismica

Come riportato nel file **pdf. "Le AZIONI SISMICHE"** la pericolosità sismica è rappresentata dai parametri a_g, F_0, T_C^*. Questi dipendono dalla coordinate geografiche del sito di residenza del fabbricato e dal periodo di ritorno T_R

2.1 - Periodo di ritorno

Il periodo di ritorno T_R è determinato in base al periodo di riferimento V_R e alla probabilità del superamento del periodo di riferimento P_{V_R} secondo l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} \qquad \begin{cases} V_R = 50 \text{ anni} \\ P_{V_R} = 0{,}1 \end{cases}$$

$$T_R = \frac{50}{\ln(1 - 0{,}1)}$$

$$T_R = 475 ani$$

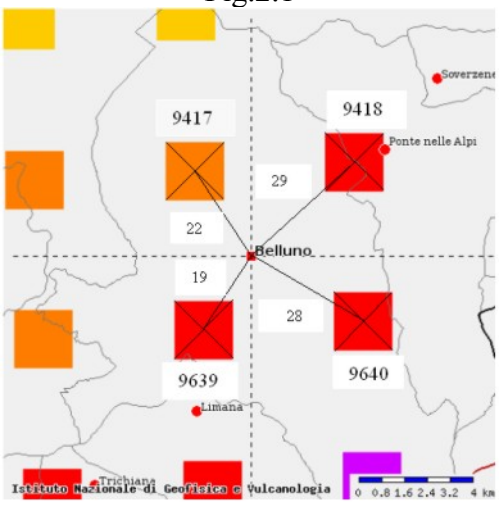
2.2 - Individuazione dei quattro nodi del reticolo di riferimento contornanti il sito

Il sito Belluno (di coordinate geografiche: LON 12.217 - LAT 46.151) è contornato da quattro nodi del reticolo di riferimento, che si determinano come descritto nel punto 8 della prima parte, riguardante la visitazione del sito http://esse1-gis.mi.ingv.it/.

Ciccando il centro di ciascun nodo, nella intestazione della tabella (fig.6) che si evidenzia, sono riportati il codice di identificazione **ID** e le rispettive coordinate geografiche. Si ha:

Nodo del reticolo	Codice **ID**	Latitudine LAT	Longitudine LON
In alto a sinista	9417	46,178	12,1927
In alto a destra	9418	46,179	12,2647
In basso a sinistra	9639	46,128	12,1938
In basso a destra	9640	46,129	12,2658

Fig.2.1



2.3 - determinazione dei parametri di pericolosità sismica nel sito in esame

Nella **TABELLA 1** dell'allegato **B** del DM2008, in corrispondenza dei codici identificati **ID** dei quattro nodi contornanti il sito, e in funzione del periodo di ritorno $T_R = 475$ anni si rilevano i parametri di pericolosità sismica a_g, F_0, T_C^*.

Su internet è reperibile il file pdf. Del DM 2008. Ponendo nel campo di ricerca **Find** il numero del codice **ID** questo si visualizza nella **tabella 1** dell'allegato **B** con i valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* in corrispondenza di differenti periodi di ritorno. Nel caso considerato, il periodo $T_R = 475$ anni è contemplato nella tabella e quindi si possono rilevare direttamente i valori dei parametri.

****

Nel caso che il periodo di ritorno T_R, calcolato, non sia previsto nel *reticolo di riferimento* di tabella, i parametri a_g, F_0, T_C^* potranno essere ricavati per interpolazione, a partire dai valori di T_{R1}, T_{R2} riportati cavallo del quello calcolato, attraverso l'espressione:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

dove:

p_1 è il parametro riportato in tabella in corrispondenza del periodo T_{R1}

p_2 è il parametro riportato in tabella in corrispondenza del periodo T_{R2}

p è il parametro da calcolare, corrispondente al periodo di ritorno T_R voluto

****

Nel caso in esame si possono leggere sulla tabella, in corrispondenza del periodo di ritorno $T_R = 475$ anni, i valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* dei quattro nodi della maglia del reticolo contornante il sito **Belluno**. Si ha:

Parametri dei vertici della maglia della griglia di riferimento che contorna il punto in esame BELLUNO (LON 12,217 LAT 46,151)						
ID	LON	LAT	a_g	F_0	T_C^*	d
9417	12,193	46,178	2.,173	2,42	0,33	22
9418	12,265	46,179	2,286	2,41	0,33	29
9639	12,194	46,128	2,348	2,41	0,32	19
9640	12,266	46,129	2,429	2,41	0,33	28

L'accelerazione a_g al sito è espressa in $g/10$, F_0 è dimensionale e T_C^* è espresso in secondi.

I valori dei parametri "p" del sito si ottengono per interpolazione, effettuando una media pesata tra quelli assunti nei nodi (ID) dei quattro vertici della maglia che lo contornano, tenendo conto delle distanze d del punto in esame dai detti vertici (fig.2.6). Ciò si ottiene dalla espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\frac{1}{d_i}}$$

2.3.1 - Accelerazione a_g

Occorre ricordare che nella tabella i valori di a_g sono espressi in *g/10*

$$a_g = \frac{\frac{2,173}{22} + \frac{2,286}{29} + \frac{2,348}{19} + \frac{2,429}{28}}{\frac{1}{22} + \frac{1}{29} + \frac{1}{19} + \frac{1}{28}} \cdot \frac{g}{10}$$

$$a_g = 2,05 \cdot \frac{g}{10}$$

2.3.2 - Fattore di amplificazione F_0

$$F_0 = \frac{\frac{2,42}{22} + \frac{2,41}{29} + \frac{2,41}{19} + \frac{2,41}{28}}{\frac{1}{22} + \frac{1}{29} + \frac{1}{19} + \frac{1}{28}}$$

$$F_0 = 2,417$$

2.3.3 - Periodo T_C^* di inizio del tratto a velocità costante

$$T_C^* = \frac{\frac{0.33}{22} + \frac{0.33}{29} + \frac{0.32}{19} + \frac{0.33}{28}}{\frac{1}{22} + \frac{1}{29} + \frac{1}{19} + \frac{1}{28}}$$

$$T_C^* = 0{,}327\ s$$

Le distanze d dal sito al centro dei nodi (fig.2.6) possono essere rilevate in qualsiasi unità di misura, essendo la formula di interpolazione espressa in rapporti.

Concludendo:

Pericolosità sismica del sito

$$a_g = 2{,}305 \cdot \frac{9{,}81}{10} \qquad a_g = 2{,}26\ \text{m/s}^2$$

$$F_0 = 2{,}417$$

$$T_C^* = 0{,}327\ \text{s}$$

2.2 - Periodi di separazione dei quattro rami dello spettro

Gli spettri di risposta sia in accelerazione sia di progetto sono suddivisi in quattro rami, separati dai periodi T_B, T_C, T_D.

Si rilevano in base al parametro $T_C^* = 0.327$ s determinato.

T_C Periodo di inizio del tratto a velocità costante

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

Ove C_C dipende dalle caratteristiche del sottosuolo. Per la categoria del **C** sottosuolo (tabella 3.2.V) si ha:

$$C_C = 1{,}05 \cdot \left(T_C^*\right)^{-0.33}$$

$$C_C = 1{,}05 \cdot \left(0.327\right)^{-0.33}$$

$$C_C = 1{,}518$$

$$T_C = 0{,}327 \cdot 1{,}518$$

$$T_C = 0{,}496\ \text{s}$$

T_C Periodo di inizio del tratto ad accelerazione costante

$$T_B = \frac{T_C}{3} \qquad T_B = \frac{0{,}496}{3}$$

$$T_B = 0{,}165\ \text{s}$$

T_C Periodo di inizio del tratto a spostamento costante

$$T_D = 4{,}0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1{,}6$$

$$T_D = 4{,}0 \cdot \frac{2{,}26}{9{,}81} + 1{,}6$$

$$T_D = 2{,}52\ \text{s}$$

4 - Determinazione del periodo di vibrazione principale T_1

Si suppone che, nella costruzione in oggetto sia possibile utilizzare l'analisi lineare statica, sia nei riguardi dei sistemi dissipativi che di quelli non dissipativi in ogni direzione principale, e che, l'azione sismica dipenda dal primo modo di vibrazione a più bassa frequenza, e risultino trascurabili gli effetti degli altri modi di vibrare superiori.

La costruzione in oggetto dell'esercizio è supposta regolare in altezza. *Occorre controllare poi che il periodo di vibrazione T_1 del primo modo di vibrare rispetti la condizione*:

$$T_1 \leq 2{,}5 \cdot T_C$$

Nel punto 7.3.3.2 del DM 2008 è riportato che: per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, *il periodo della vibrazione principale* T_1 può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

si suppone che l'altezza del fabbricato in oggetto sia:

$$H = 10{,}15\ m$$

il coefficiente C_1 dipende dal tipo di costruzione $\begin{cases} \text{telaio in acciaio} & C_1 = 0{,}085 \\ \text{telaio in cemento armato} & C_1 = 0{,}075 \\ \text{qualsiasi altro tipo} & C_1 = 0{,}05 \end{cases}$

nel caso in oggetto di fabbricato in muratura ordinaria:

$$C_1 = 0{,}05$$

$$T_1 = 0{,}05 \cdot (10{,}15)^{3/4}$$

$$T_1 = 0{,}284 \text{ s}$$

Verifica dell'ammissibilità dell'analisi lineare statica

$2{,}5 \cdot T_C = 2{,}5 \cdot 0{,}496 = 1{,}24$ s $\qquad T_1 = 0{,}284$ s $\qquad$ risulta:

$$T_1 < 2{,}5 \cdot T_C$$

è rispettata la limitazione prescritta

5 - Spettro di risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali

La funzione che fornisce la risposta in accelerazione delle componenti orizzontali è suddivisa a seconda dell'intervallo in cui è compreso il periodo T_1 della vibrazione principale del fabbricato. Si ha:

$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$	I	andamento rettilineo crescente
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$	II	andamento rettilineo costante
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$	III	andamento iperbolico decrescente
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$	IV	iperbole quadratica decrescente

dove:

S *parametro che tienine conto della categoria del sottosuolo e delle condizioni topografiche*

$$S = S_S \cdot S_T$$

dove:

S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica. Per la categoria **C** (tabella 3.2.V)

$$S_S = 1{,}7 - 0{,}6 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$$

$$S_S = 1{,}7 - 0{,}6 \cdot 2{,}417 \cdot \frac{2{,}26}{9{,}81}$$

$$S_S = 1{,}366$$

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica. Per la categoria T_1 si ha (tabella 3.2.VI)

$$S_T = 1{,}0$$

Risulta quindi:

$$S = 1{,}366 \cdot 1{,}0$$

$$S = 1{,}366$$

η *coefficiente che tienine conto dello smorzamento viscoso attraverso il coefficiente* ξ *diverso dal 5% standard di riferimento*:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0{,}55$$

ritenendo $\xi = 5\%$ si ha:

$$\eta = 1{,}0$$

5.1 - Ordinata dello spettro di risposta, corrispondente al periodo di vibrazione $T_1 = 0{,}284$ s

Il periodo principale di vibrazione $T_1 = 0{,}284$ s è compreso nell'intervallo:

$$T_B \leq T_1 < T_C \qquad \text{essendo} \begin{cases} T_B = 0{,}165 \text{ s} \\ T_1 = 0{,}284 \text{ s} \\ T_C = 0{,}496 \text{ s} \end{cases}$$

La risposta in accelerazione è espressa dalla funzione II

$$S_e(T_1) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \qquad \text{con} \begin{cases} a_g = 2{,}26 \ m/s^2 \\ S = 1{,}366 \\ \eta = 1{,}0 \\ F_0 = 2{,}417 \end{cases}$$

$$S_e(T_1) = 2{,}26 \cdot 1{,}366 \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}417$$

$$S_e(T_1) = 7{,}46 \ m/s^2$$

6 - Spettro di risposta elastica in spostamento della componente orizzontale

Come si è osservato nel punto 9.5 degli appunti, "file pdf. LE AZIONI SISMICHE", le ordinate dello spettro di risposta elastico in spostamento si ricavano da quelle in accelerazione, dividendole per il quadrato della pulsazione della vibrazione propria ω_0:

$$S_{D_e} = \frac{S_e(T)}{\omega_0^2}$$

nel caso in esame, il periodo è quello della prima vibrazione propria T_1, a cui corrisponde la pulsazione ω_1:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$$ si ha sostituendo:

$$S_{D_e}(T_1) = S_e(T_1) \cdot \left(\frac{T_1}{2\pi}\right)^2 \qquad S_{D_e}(T_1) = 7.46 \cdot \left(\frac{0{,}284}{2\pi}\right)^2$$

$$S_{D_e}(T_1) = 0{,}0152 \text{ m}$$

L'espressione dello spostamento S_{D_e}, è valida purché il periodo di vibrazione non ecceda i valori di T_E indicati nella tabella 3.2.8 del DM 2008.

Nel nostro caso, per la categoria **C** del sottosuolo, risulta:

$$T_E = 6{,}0$$

quindi è soddisfatta la limitazione prescritta:

$$T_1 = 0{,}284 < T_E = 6{,}0$$

7 - Spostamento orizzontale del terreno orizzontale

Nel punto 3.2.3.3 del DM 1008 sono indicate le espressioni per la determinazione dello spostamento orizzontale d_g del terreno e della velocità massima v_g

7.1 - Spostamento orizzontale del terreno

$$d_g = 0{,}025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \qquad \begin{cases} a_g = 2{,}26\ m/s^2 \\ S = 1{,}366 \\ T_C = 0{,}496 \text{ s} \\ T_D = 2{,}52 \text{ s} \end{cases}$$

$$d_g = 0{,}025 \cdot 2{,}26 \cdot 1{,}366 \cdot 0{,}496 \cdot 2{,}52$$

$$d_g = 0{,}0965\, m$$

7.2 - Velocità massima

$$v_g = 0{,}16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$$

$$v_g = 0{,}16 \cdot 2{,}26 \cdot 1{,}366 \cdot 0{,}496$$

$$v_g = 0{,}245\ m/s$$

8 - Fattore di struttura

Come si è rilevato negli appunti "AZIONE SISMICA", ai fini della progettazione, la capacità dissipativa della struttura è messa in conto attraverso un fattore riduttivo della forze elastiche denominato *fattore di struttura* q.

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per gli edifici in muratura ordinaria, come quello supposto nel presente esercizio, il valore massimo q_0 del fattore di struttura (punto 7.8.1.3 del DM 2008, tabella 7.8.I) è fornito dall'espressione:

$$q_0 = 2{,}0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

dove:

α_1 è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, il primo pannello murario raggiunge la sua resistenza ultima (a taglio o a pressoflessione).

α_u è il 90% del moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, la costruzione raggiunge la massima forza resistente. Il valore di α_u/α_1 può essere calcolato per mezzo di un analisi statica non lineare (§ 7.3.4.1 DM 2008) e non può in ogni caso essere assunto superiore a 2,5.

Per costruzioni n muratura ordinaria a 2 o più piani:

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1{,}8 \qquad \text{risulta:}$$

$$q_0 = 2{,}0 \cdot 1{,}8$$

$$q_0 = 3{,}6$$

l'edificio si è supposto regolare in altezza, per cui risulta: $K_R = 1$

$$q = q_0 \cdot K_R$$

$$q = 3{,}6 \cdot 1$$

$$q = 3{,}6$$

9 - Spettro di progetto per gli stati limite ultimi

Si ottiene dallo spettro elastico in accelerazione, sostituendo il fattore di struttura q al posto del coefficiente η .

Così per la vibrazione propria principale $T_1 = 0{,}284$ s appartenente all'intervallo:

$T_B \leq T_1 < T_C$ si ha:

$$S_d(T_1) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \qquad \begin{cases} a_g = 2{,}26\ m/s^2 \\ S = 1{,}366 \\ q = 3{,}6 \\ F_0 = 2{,}417 \end{cases}$$

$$S_d(T_1) = 2{,}26 \cdot 1{,}388 \cdot \frac{1}{3{,}6} \cdot 2{,}417$$

$$S_d(T_1) = 2{,}07\ m/s^2$$

Avanti... Clic per proseguire