SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

SPETTRO DI PROGETTO

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

Fornisce le forze sismiche che sarebbe necessario applicare per garantire un comportamento indefinitamente elastico.

Poiché nella verifica allo SLU si considera un'azione sismica corrispondente ad un elevato periodo di ritorno, 475 anni, si ritiene accettabile una controllata fuoriuscita dal campo elastico, che non comporti il collasso strutturale, potendo in tal modo progettare con forze sismiche ridotte attraverso il fattore di struttura q.

SPETTRO DI PROGETTO

Fornisce le forze sismiche di progetto ridotte corrispondenti ad un livello di plasticizzazione (richiesta di duttilità) compatibile con la sopravvivenza della struttura:

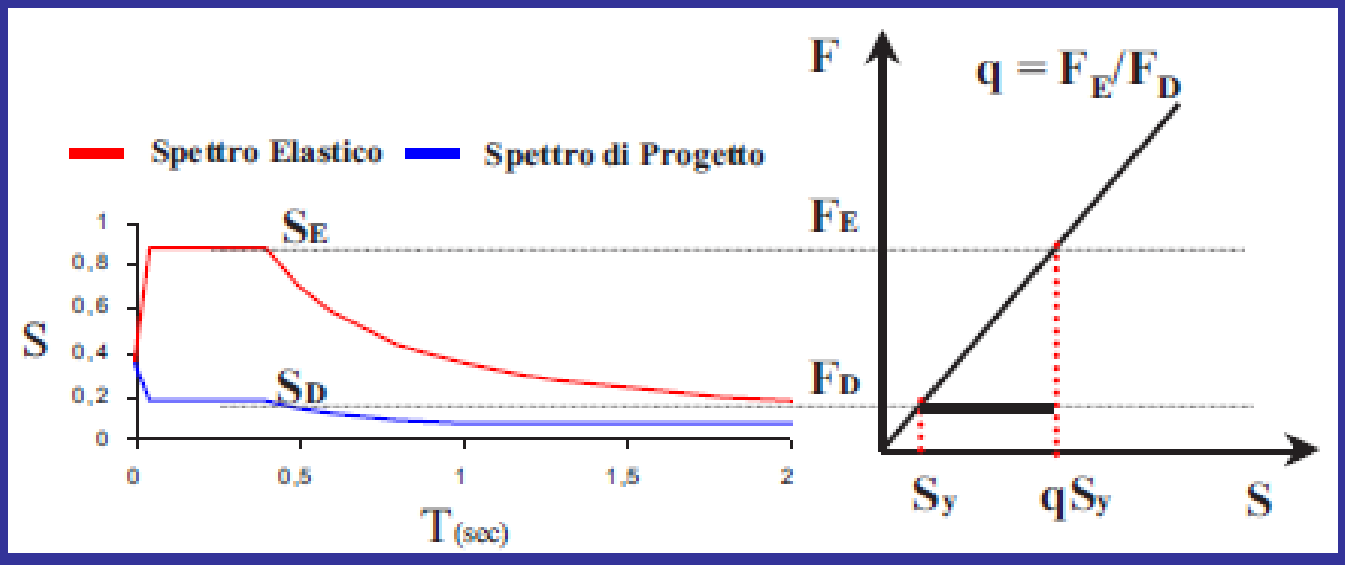
DUTTILITÀ RICHIESTA < DUTTILITÀ DISPONIBILE

(Ridis. con modifiche da M. De Stefano, 2009)

Verifica allo Stato Limite Ultimo - SLU

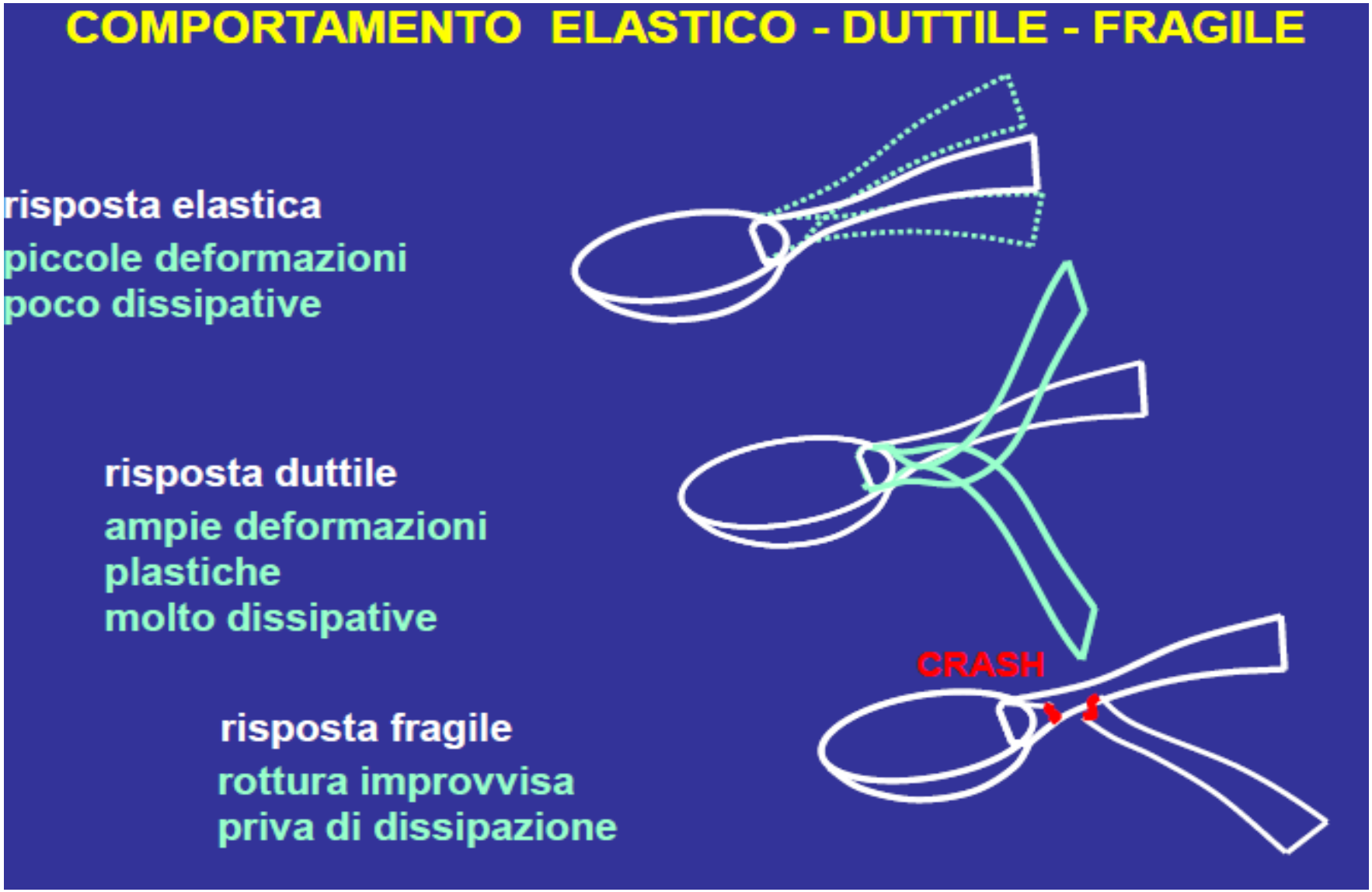
Per motivi di carattere economico, in occasione di eventi sismici violenti, con elevato periodo di ritorno, vengono accettate significative plasticizzazioni (ed il conseguente danneggiamento), purchè esse non comportino il collasso della struttura

La verifica consiste nel controllare che il sistema strutturale abbia specifiche caratteristiche di resistenza e di capacità di dissipazione energetica. Il bilancio fra resistenza e capacità dissipativa (duttilità) avviene operativamente mediante il cosiddetto *fattore di struttura q*, che riduce le ordinate dello spettro di risposta elastico S_E, dando luogo allo spettro di progetto S_D



Concetto di duttilità

Duttilità = rapporto tra spostamento massimo e spostamento al collasso



LA RIDUZIONE DELLE FORZE SISMICHE

MEDIANTE IL FATTORE DI STRUTTURA q E'

POSSIBILE SOLO SE LA STRUTTURA POSSIEDE

ADEGUATE RISORSE IN TERMINI DI DUTTILITA'

RESISTENZA <–> DUTTILITA'

Comportamento della struttura

Le costruzioni soggette alle azioni sismiche devono essere progettate secondo due comportamenti:

- comportamento non dissipativo (per Stati Limite di Esercizio)
  - linearità di comportamento di materiale e geometrica
  - modellazione lineare statica o dinamica

- comportamento dissipativo (per Stati Limite Ultimi):
  - non linearità di comportamento (di materiale e, eventualmente, geometrica)
  - modellazione dinamica o statica, non lineare o lineare (con coefficiente q)

Comportamento dissipativo

Nell'ambito del comportamento dissipativo le strutture si dividono in base alla loro capacità di dissipazione ed all'entità delle plasticizzazioni cui si riconduce in fase di progettazione:

- CD "A": classe di duttilità alta
- CD "B": classe di duttilità bassa

Le strutture di classe di duttilità alta saranno caratterizzate dalla presenza di dettagli costruttivi, elementi di regolarità strutturale e saranno progettate nel rispetto rigoroso della gerarchia delle resistenze

E' necessario avere i valori di q dallo strutturista (ma anche q_0). Per un primo approccio, nel caso che il dato non venga comunicato, si può fare riferimento alle slides seguenti.

FATTORE DI STRUTTURA q

$$q = q_0 \cdot K_R$$

tipologia strutturale → q_0

regolarità → K_R

VALORE DI q_0

Dipende dal livello di duttilità attesa (classe di duttilità), dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u / α_1

TIPOLOGIA	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	4,5 α_u/α_1	3 α_u/α_1
Strutture a pareti non accoppiate	4 α_u/α_1	3
Strutture deformabili torsionalmente	3	2
Strutture a pendolo inverso	2	1,5

"A" Duttilità alta; "B" bassa

VALORI DI α_u/α_1

α_1 ➡ Moltiplicatore dell' azione sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione.

α_u ➡ Moltiplicatore dell' azione sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile (formazione di meccanismo).

VALORI DI α_u/α_1

STRUTTURE A TELAIO O MISTE EQUIVALENTI A TELAI

- strutture a telaio di un piano → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- strutture a telaio con più piani e più campate → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

STRUTTURE A PARETI O MISTE EQUIVALENTI A PARETI

- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$
- altre strutture a pareti non accoppiate → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti → $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

Fattore di regolarità K_R

Gli edifici devono avere quanto più possibile caratteristiche di semplicità, simmetria, iperstaticità e regolarità. ....

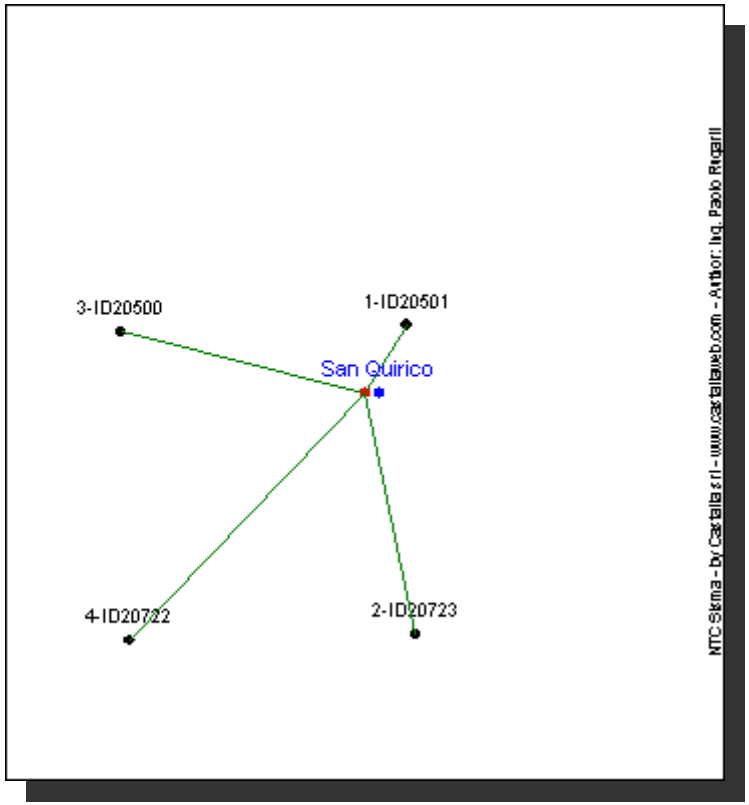
Si definisce regolare un edificio che rispetti sia i criteri di regolarità in pianta sia i criteri di regolarità in altezza.

K_R=1.0 Edifici regolari in altezza

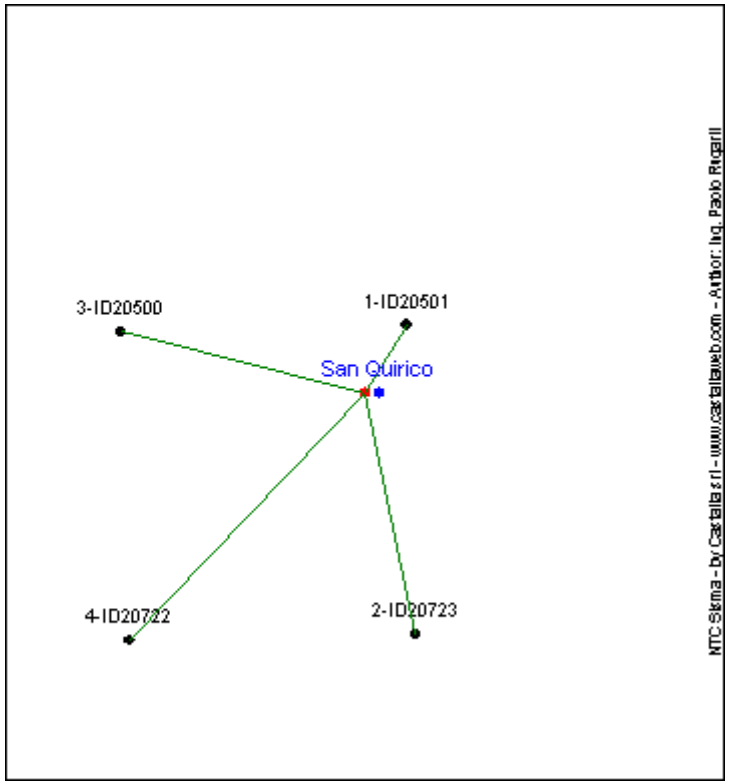
K_R=0.8 Edifici irregolari in altezza

Esempio

con uso di Spettri- NTC del CSLP



Si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si deteminano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.



Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento

Dati ricevuti dallo strutturista e dalla sismica:

Vita Nominale 50
Classe d'uso III
Fattore di struttura q=3
Edificio irregolare K_R=0,8
Periodo fondamentale
T1=0,358 s

Categoria di sottosuolo B

Coeff.Topogr. T1

INTRO

D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

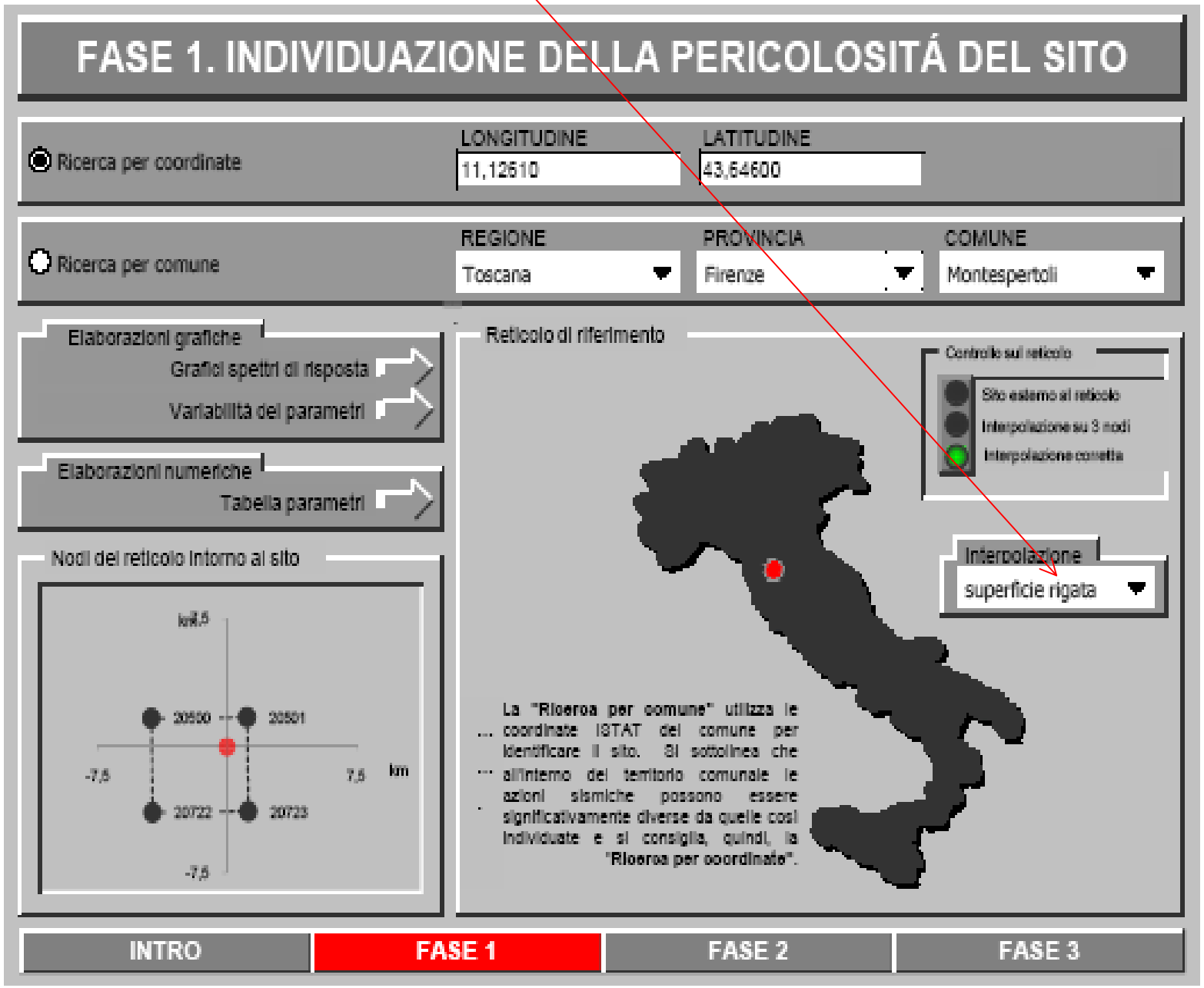
Spettri di risposta ver. 1.0.3

Il documento Excel **SPETTRI-NTC** fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.
La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:
FASE 1. Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);
FASE 2. Scelta della strategia di progettazione;
FASE 3. Determinazione dell'azione di progetto.
La schermata relativa a ciascuna fase è suddivisa in sotto-schermate: l'utente può intervenire nelle sotto-schermate con sfondo grigio scuro mentre quelle con sfondo grigio chiaro consentono un immediato controllo grafico delle scelte effettuate. In ogni singola fase l'utente può visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni -in forma sia grafica che numerica- nonchè i relativi riferimenti alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ord. n.30 e scaricabile dal sito www.cslp.it

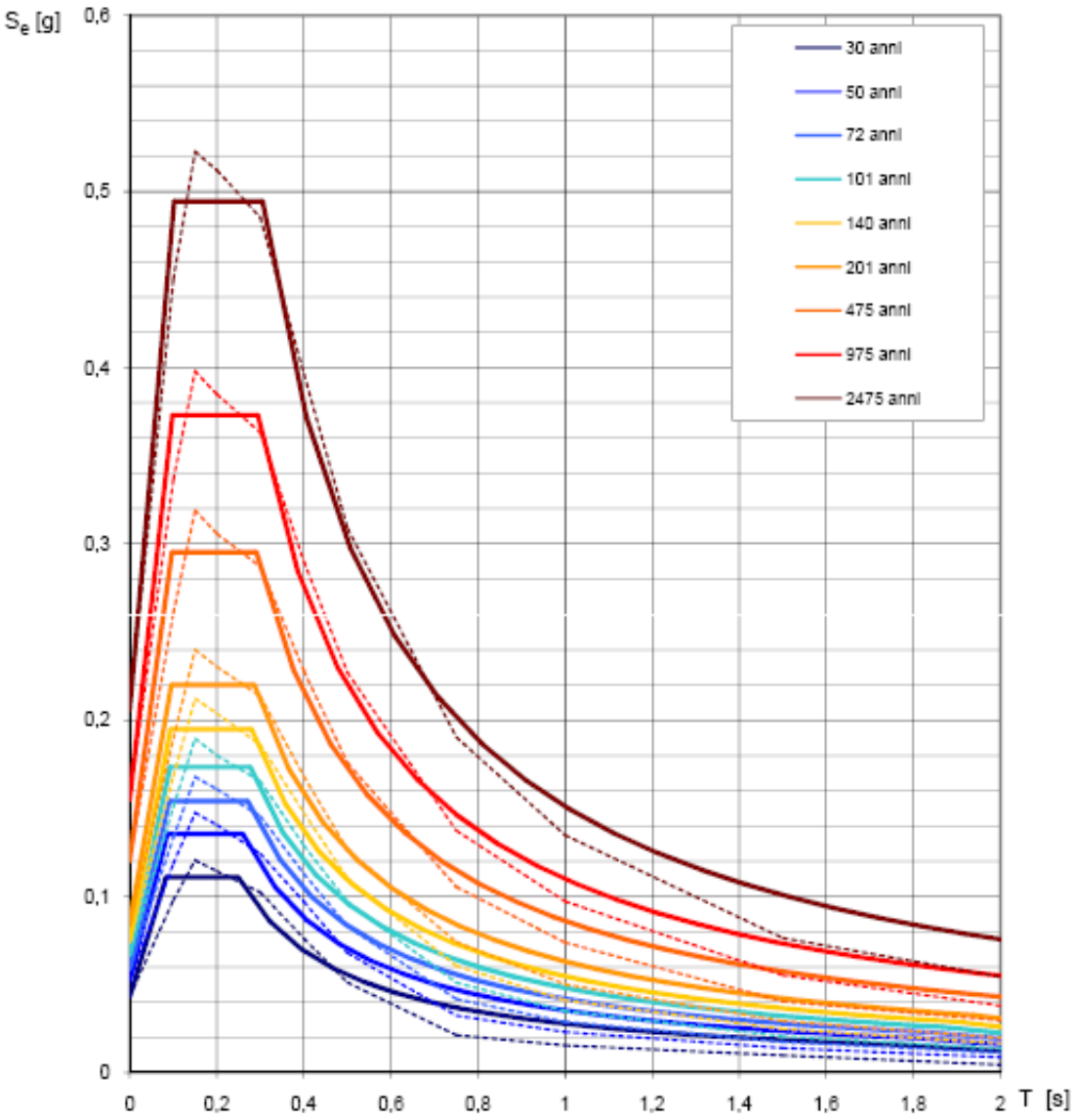
Programma ottimizzato per una visualizzazione schermo 1024 x 768

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Se non si sono convertite le coordinate di Google da WGS84 a ED50 (datum INGV) per ridurre in parte l'errore si sceglie il metodo della superficie rigata e non la media pesata (da utilizzare in caso di conversione)



Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



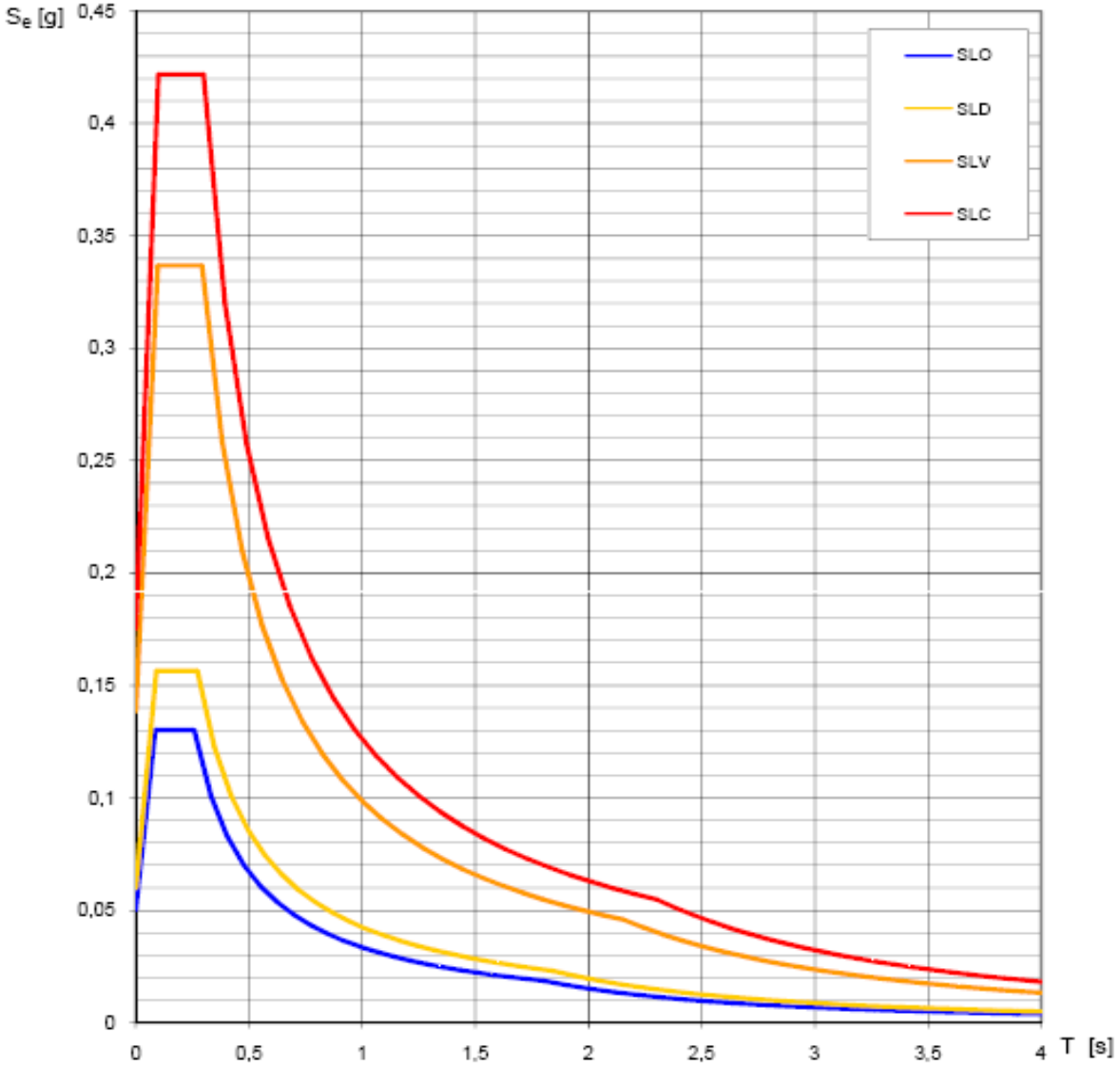
NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,043	2,576	0,249
50	0,052	2,594	0,259
72	0,059	2,619	0,271
101	0,067	2,606	0,276
140	0,074	2,614	0,280
201	0,085	2,602	0,286
475	0,120	2,457	0,291
975	0,155	2,411	0,294
2475	0,208	2,402	0,305

Classe d'uso III
Cu = 1,5

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,050	2,590	0,257
SLD	75	0,060	2,618	0,271
SLV	712	0,139	2,431	0,293
SLC	1462	0,175	2,407	0,299

Dagli spettri di risposta elastici, introducendo il periodo fondamentale di struttura T1 ed il fattore di struttura q, forniti dallo strutturista, si sono ricavati gli spettri di progetto:

Fattore di struttura q = 3.0, q_0= 3,75

Periodo fondamentale T1 = 0.358

IMPORTANTE

Nel foglio del CSLP nella "FASE 3" non viene richiesto il fattore di struttura q, ma q_0 (v. pag. successiva) **che rappresenta la duttilità generale della tipologia strutturale** (valore fornito dallo strutturista).

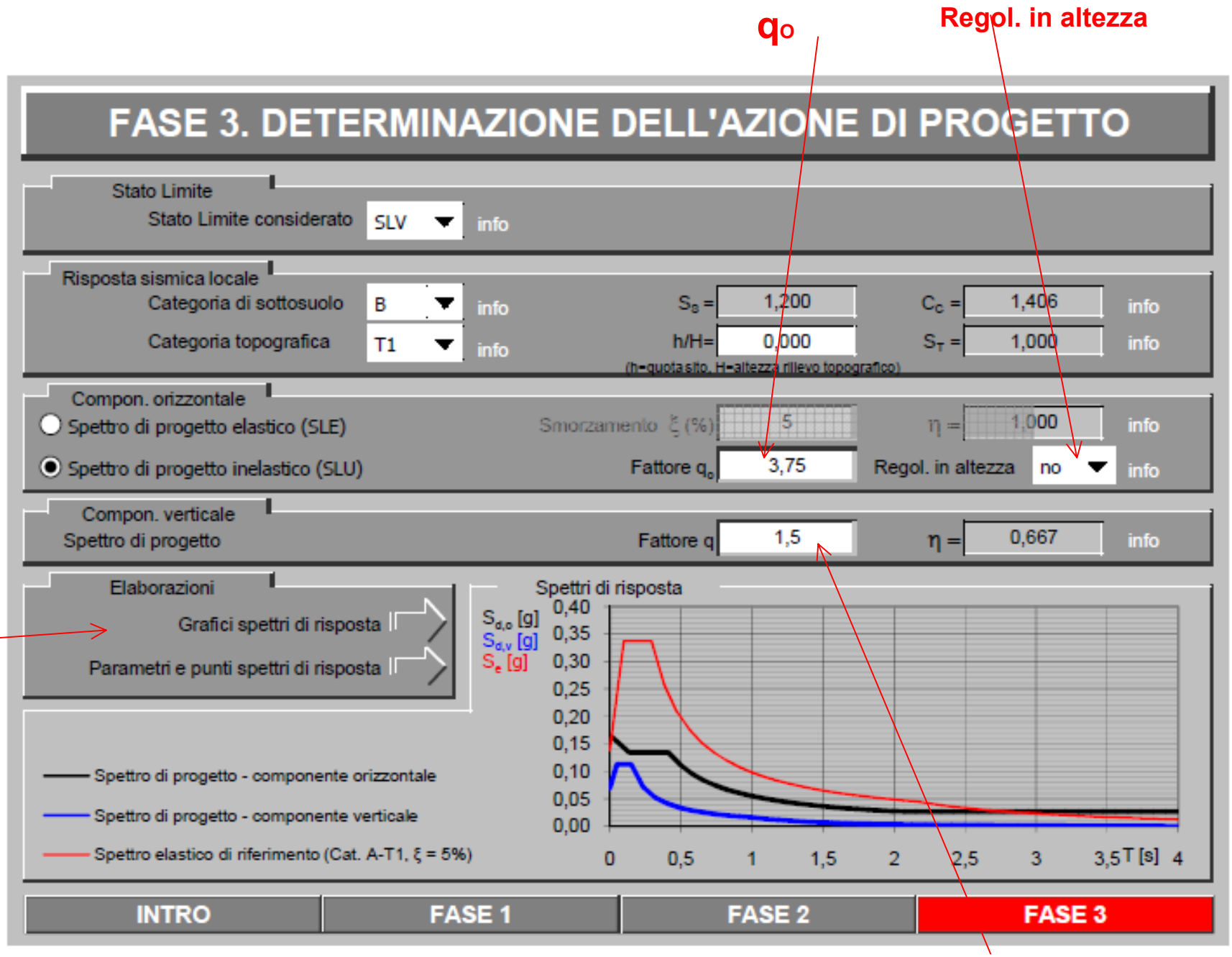
Se abbiamo solo il valore di **q** e utilizziamo il foglio **Spettri**, ci sono due possibilità:

1) si inserisce tale valore al posto di q_0, se l'edificio è regolare in altezza, poiché

$$q = q_0 \cdot Kr$$

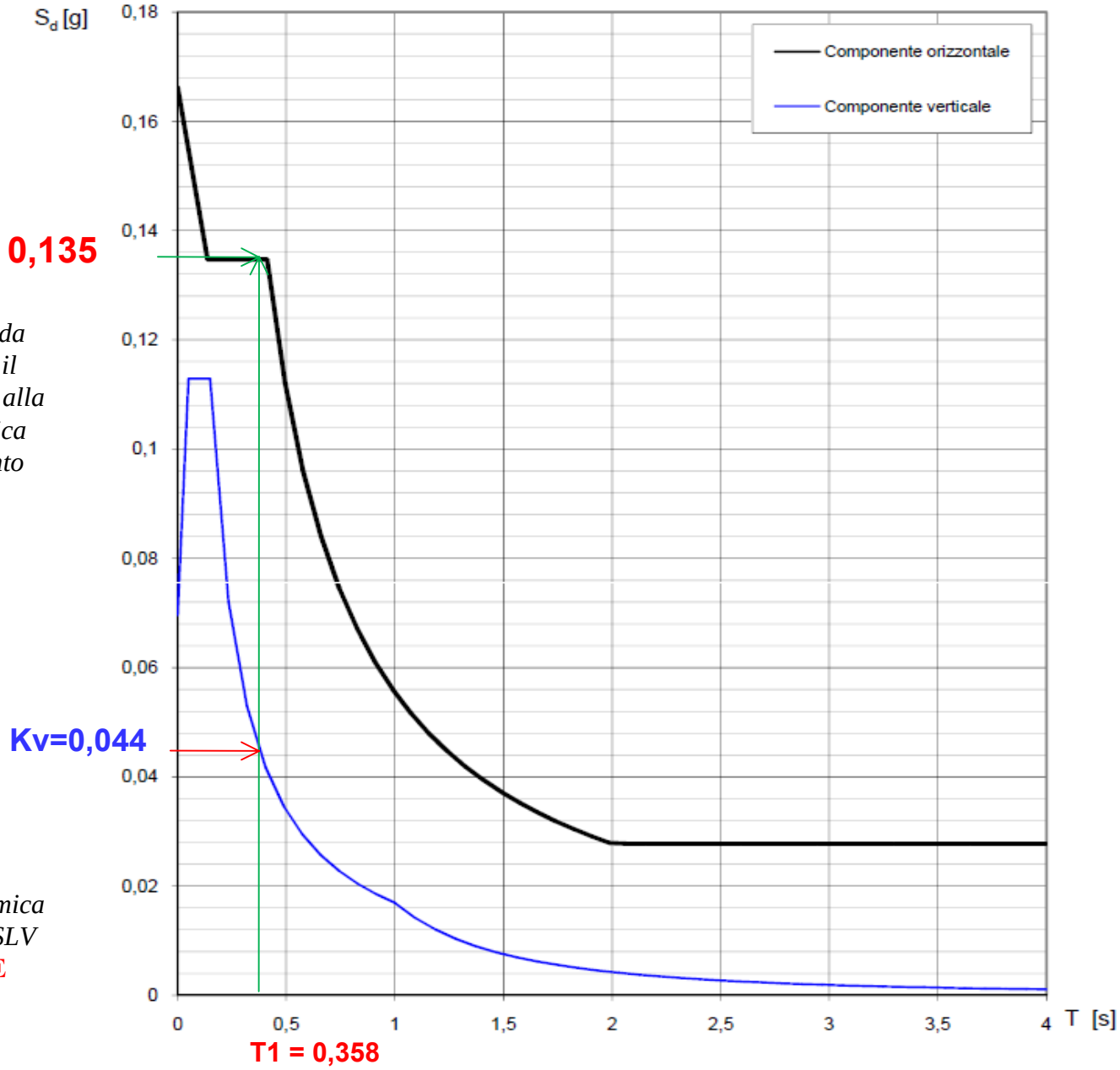
e in questo caso Kr = 1,0 ; nella finestra *di Spettri* a destra di quella di q_0 a *Regol. in altezza* va detto **si**;

2) si ottiene q_0 da q/0,8 se l'edificio in altezza è irregolare, poiché in tal caso Kr = 0,8.
Nella finestra a *Regol. in altezza* va detto **no**.



SLV- Spettro di progetto inelastico (SLU) - q verticale è <u>sempre</u> = 1.5

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Khi = 0,135 *da utilizzare per il taglio sismico alla base per verifica allo scorrimento*

Kv = 0,044 *da utilizzare nella combinazione sismica* **(qlim sismica)** - *SLV* (Resistenze) per **E**

Sd(T) – SLV dallo spettro di progetto inelastico (SLU)

Khi = 0,135 *da utilizzare per il taglio sismico alla base per verifica allo scorrimento* ^

Kv = 0,044 *da utilizzare nella combinazione sismica* **(qlim sismica)** - *SLV* (Resistenze) per **E**

stati limite ultimi (qlim sismica) ***SLV***

Combinazione sismica

E + G1 + G2 + P + ψ21×Qk1 + ψ22×Qk2 + …

Con

E = (G1+G2+ ψ2j*Qkj) * kv (kN)

E = (G1+G2+ ψ2j*Qkj) * 0,044

---

^ Ed = H = Nd * khi (v. pagg.122,123)

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,139 g
F_o	2,431
T_C^*	0,293 s
S_S	1,200
C_C	1,406
S_T	1,000
q	3,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,333
T_B	0,137 s
T_C	0,412 s
T_D	2,154 s

q fornito dallo strutturista

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$: $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C$: $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$: $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \leq T$: $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,166
T_B	0,137	0,135
T_C	0,412	0,135
	0,495	0,112
	0,578	0,096
	0,661	0,084
	0,744	0,075
	0,827	0,067
	0,910	0,061
	0,993	0,056
	1,076	0,052
	1,158	0,048
	1,241	0,045
	1,324	0,042
	1,407	0,039
	1,490	0,037
	1,573	0,035
	1,656	0,033
	1,739	0,032
	1,822	0,030
	1,905	0,029
	1,988	0,028
	2,071	0,028
T_D	2,154	0,028
	2,242	0,028
	2,330	0,028
	2,418	0,028
	2,506	0,028
	2,594	0,028
	2,682	0,028
	2,770	0,028
	2,857	0,028
	2,945	0,028
	3,033	0,028
	3,121	0,028
	3,209	0,028
	3,297	0,028
	3,385	0,028
	3,473	0,028
	3,561	0,028
	3,648	0,028
	3,736	0,028
	3,824	0,028
	3,912	0,028
	4,000	0,028

In questo caso è il valore di khi, poiché T1 si raccorda con il plateau. (v. pag.157)

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,070 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,222
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$$\eta = 1/q$$ (NTC-08 §. 3.2.3.5)

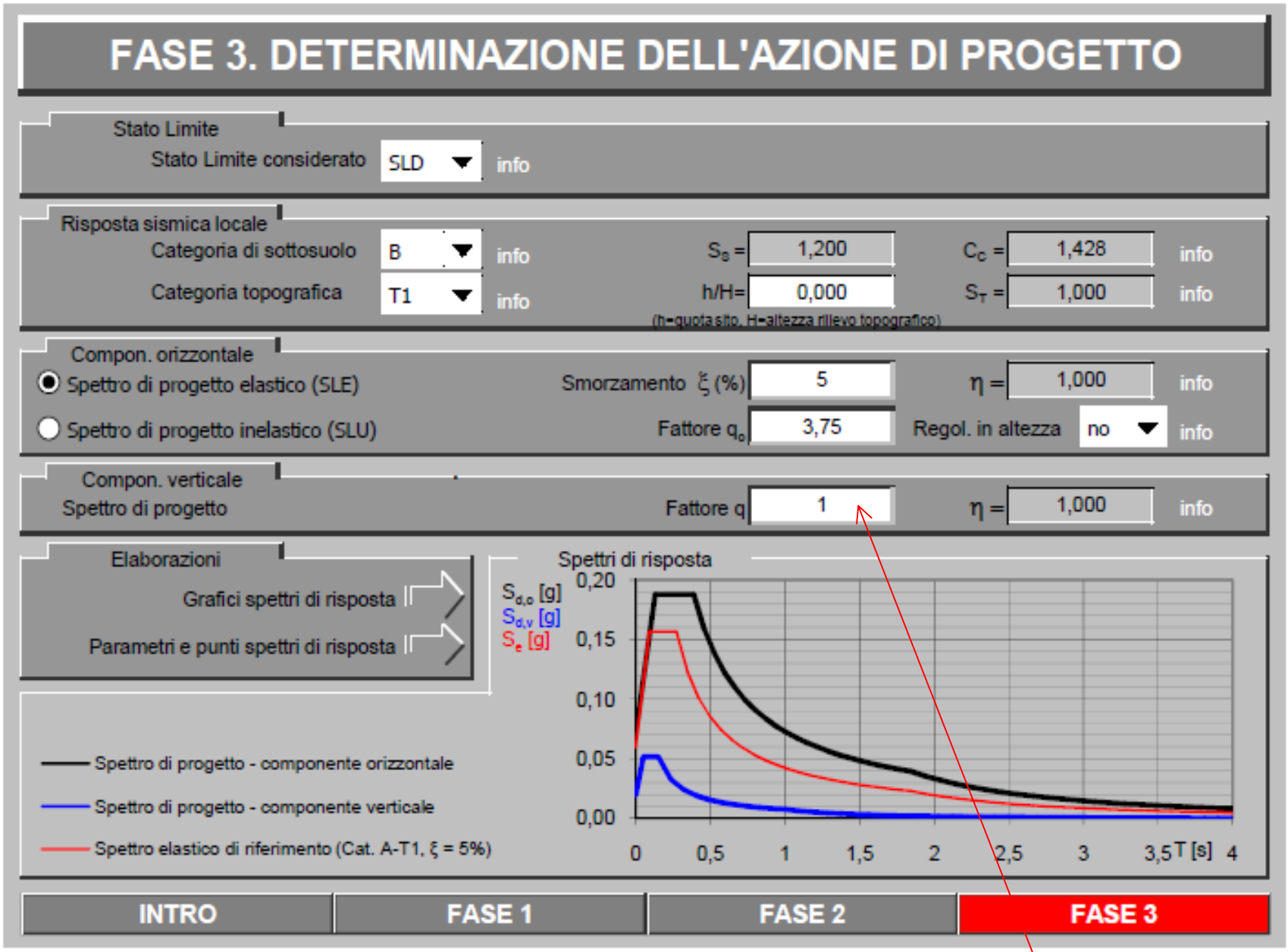
$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$ (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$0 \le T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$
$T_B \le T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$
$T_C \le T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$
$T_D \le T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

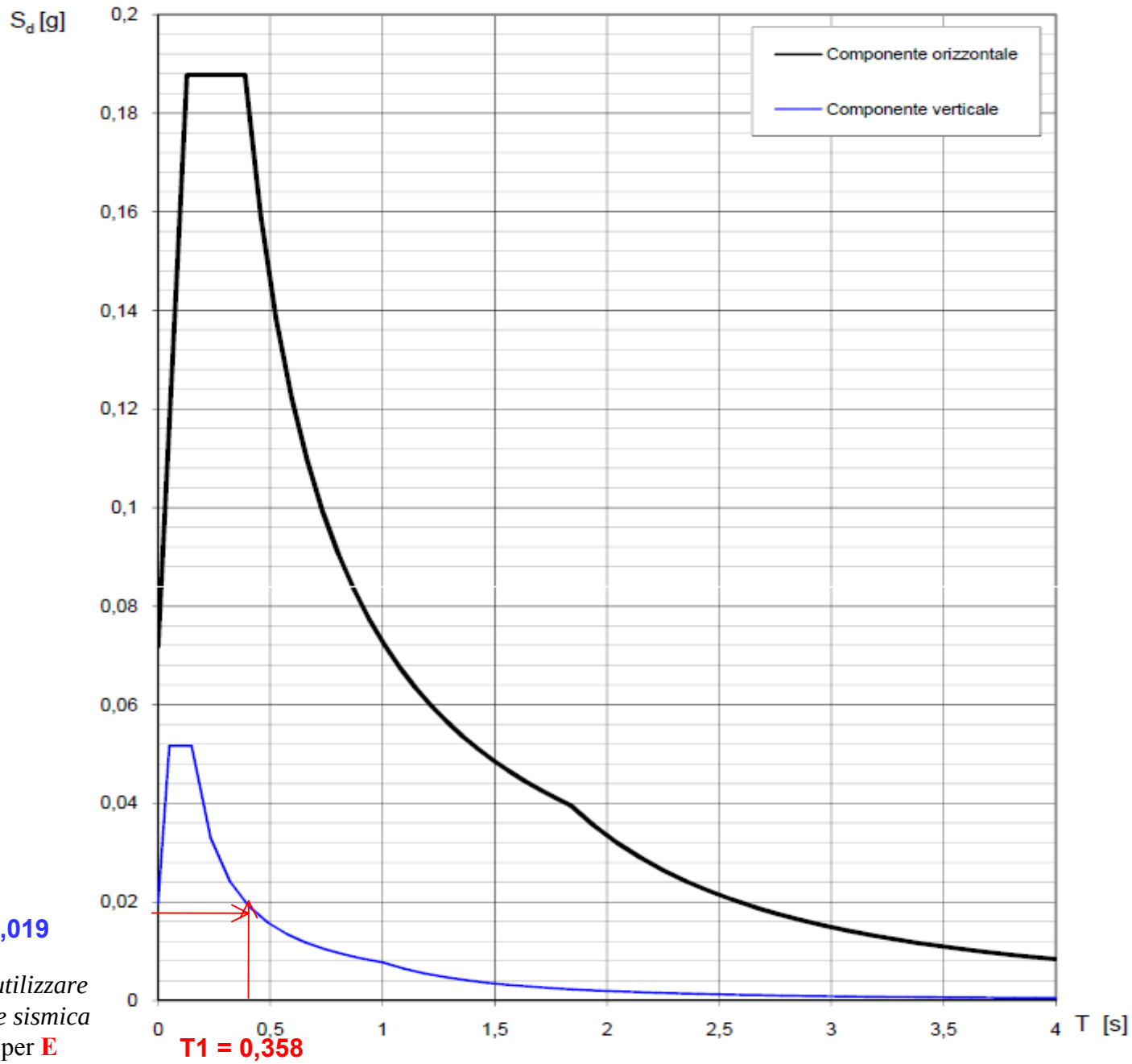
Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,070
T_B ←	0,050	0,113
T_C ←	0,150	0,113
	0,235	0,072
	0,320	0,053
	0,405	0,042
	0,490	0,035
	0,575	0,029
	0,660	0,026
	0,745	0,023
	0,830	0,020
	0,915	0,019
T_D ←	1,000	0,017
	1,094	0,014
	1,188	0,012
	1,281	0,010
	1,375	0,009
	1,469	0,008
	1,563	0,007
	1,656	0,006
	1,750	0,006
	1,844	0,005
	1,938	0,005
	2,031	0,004
	2,125	0,004
	2,219	0,003
	2,313	0,003
	2,406	0,003
	2,500	0,003
	2,594	0,003
	2,688	0,002
	2,781	0,002
	2,875	0,002
	2,969	0,002
	3,063	0,002
	3,156	0,002
	3,250	0,002
	3,344	0,002
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001



SLD- Spettro di progetto elastico (SLE) - q verticale è sempre = 1.0

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



Kv= 0,019 *da utilizzare nella combinazione sismica* - SLD (cedimenti) per **E**

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,060 g
F_o	2,618
T_C^*	0,271 s
S_S	1,200
C_C	1,428
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,129 s
T_C	0,388 s
T_D	1,839 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,072
T_B ←	0,129	0,188
T_C ←	0,388	0,188
	0,457	0,159
	0,526	0,138
	0,595	0,122
	0,664	0,110
	0,733	0,099
	0,802	0,091
	0,871	0,083
	0,941	0,077
	1,010	0,072
	1,079	0,067
	1,148	0,063
	1,217	0,060
	1,286	0,057
	1,355	0,054
	1,424	0,051
	1,493	0,049
	1,563	0,047
	1,632	0,045
	1,701	0,043
	1,770	0,041
T_D ←	1,839	0,040
	1,942	0,035
	2,045	0,032
	2,148	0,029
	2,251	0,026
	2,354	0,024
	2,456	0,022
	2,559	0,020
	2,662	0,019
	2,765	0,018
	2,868	0,016
	2,971	0,015
	3,074	0,014
	3,177	0,013
	3,280	0,012
	3,383	0,012
	3,485	0,011
	3,588	0,010
	3,691	0,010
	3,794	0,009
	3,897	0,009
	4,000	0,008

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0,020 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,000
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,864
S	1,000
η	1,000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$$\eta = 1/q$$ (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$ (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$0 \le T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$
$T_B \le T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$
$T_C \le T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$
$T_D \le T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,020
T_B ←	0,050	0,052
T_C ←	0,150	0,052
	0,235	0,033
	0,320	0,024
	0,405	0,019
	0,490	0,016
	0,575	0,013
	0,660	0,012
	0,745	0,010
	0,830	0,009
	0,915	0,008
T_D ←	1,000	0,008
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,005
	1,375	0,004
	1,469	0,004
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,003
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,000

Sd(T) dallo spettro di progetto elastico (SLE)

Kv= 0,019 *da utilizzare nella combinazione sismica* - SLD (cedimenti) per **E**

stati limite esercizio (cedimenti sismici) ***SLD***

Combinazione sismica

E + G1 + G2 + P + ψ21×Qk1 + ψ22×Qk2 + …

con

E = (G_1+G_2+ ψ2j*Qk_j) * kv (kN)

E = (G_1+G_2+ ψ2j*Qk_j) * 0,019

COMBINAZIONI DELLE AZIONI

stati limite ultimi (SLU): ***Combinazione fondamentale statica***

$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \ldots$

(per qlim statica)

stati limite di esercizio (SLE) irreversibili

-verifiche alle tensioni ammissibili : ***Combinazione caratteristica***

$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \ldots$

stati limite di esercizio statici (SLE) reversibili

(cedimenti immediati): ***Combinazione frequente***

$G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \ldots$

stati limite di esercizio statici(SLE)

(cedimenti a lungo termine) ***Combinazione quasi permanente***

$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \ldots$

stati limite ultimi (qlim sismica) ***SLV***

e di esercizio (cedimenti sismici) ***SLD*** ***Combinazione sismica***

$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \ldots$

Dati dello strutturista :
Approccio progettuale DA1 (Combinazione1, Combinazione2)
Azioni permanenti strutturali sfavorevoli G1= 10846 daN
Azioni variabili sfavorevoli Qk1 = 3056 daN

Si assumono i risultati di calcolo dei fogli CSLP delle pagine precedenti

Tabella 6.2.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Azioni

Combinazioni utilizzate :

-*Combinazione fondamentale statica SLU*

-*Combinazione quasi permanente SLE*

-*Combinazione sismica SLV e SLD*

Azioni permanenti strutturali sfavorevoli G1= 10846 daN

Azioni variabili sfavorevoli Qk1 = 3056 daN

DA1 – C1 (A1+M1+R1) dimensionamento strutturale (STR)

Combinazione fondamentale statica SLU

$gG1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \ldots$

Ed = 1.3*10846 daN + 1.5*3056 daN

Ed = 18683.8 daN

Combinazione quasi permanente SLE

$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \ldots$

Ed = 10846 daN+ 0.3 *3056 daN

Ed= 11762.8 daN

DA1- C2 (A2+M2+R2) dimensionamento geotecnico (GEO)

Combinazione fondamentale statica SLU

$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \ldots$

Ed = 1*10846 daN+1.3*3056 daN

Ed = 14818.8 daN

Combinazione quasi permanente SLE

$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + ..$ **Ψ2=0.3**

Ed = 10846 daN+0.3*3056

Ed = 11762.8 daN

Combinazione sismica

SLV - sisma

$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \ldots$

E= $(G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22)$*kv

E = 10846 daN+(0.3*3056)*kv

E = 11762daN*0.044 = 517.5 daN **(v. slide 157)**

$Ed = E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1$

Ed= 517.5 daN + 11762.8daN

Ed = 12279.528 daN

SLD

E= (G1 + G2 + P + ψ21×Qk1 + ψ22)*kv

E = 11762 daN*0.019 = 223.478 daN (v. slide 162)

Ed=223.478 daN +11762 daN

Ed = 11985.48daN

DATI GENERALI

==========

Larghezza fondazione	1,0	m
Lunghezza fondazione	5,0	m
Profondità piano di posa	1,0	m
Profondità falda	8,0	

==========

SISMA

==========

Accelerazione massima (ag/g)	0,169
Coefficiente sismico orizzontale	0,0405
Coefficiente sismico verticale	0,0203

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Descrizione:	S.Quirico		
Latitudine:	43,65		
Longitudine:	11,13		
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie		
Classe d'uso:	Classe III		
Vita nominale:	50,0	[anni]	
Vita di riferimento:		75,0	[anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,5	2,59	0,26
S.L.D.	75,0	0,6	2,61	0,27
S.L.V.	712,0	1,38	2,45	0,29
S.L.C.	1462,0	1,76	2,42	0,3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: fondazioni superficiali

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6	0,2	0,0122	0,0061
S.L.D.	0,72	0,2	0,0147	0,0073
S.L.V.	1,656	0,24	0,0405	0,0203
S.L.C.	2,112	0,24	0,0517	0,0258

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams:Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH (m)	Gam (kN/m³)	Gams (kN/m³)	Fi (°)	Fi Corr. (°)	c (kN/m²)	c Corr. (kN/m²)	cu (kN/m²)	Ey (kN/m²)	Ed (kN/m²)	Ni	Cv (cmq/s)	Cs
4,7	19,4	21,0	19,0	19	79,0	79,0	180,0	0,0	3150,0	0,0	0,0	0,0
10,0	21,0	23,0	34,0	34	0,0	0,0	0,0	0,0	5000,0	0,0	0,0	0,0

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto (kN/m²)	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN)·m	Hx (kN)	Hy (kN)	Tipo
1	A1+M1+R1	37,40	187,00	0,00	0,00	19,00	0,00	Progetto
2	A2+M2+R2	30,00	148,00	0,00	0,00	15,00	0,00	Progetto
3	Sisma	24,60	123,00	0,00	0,00	25,00	0,00	Progetto
4	SLE	23,60	118,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
5	SLD	23,80	119,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	1	1
2	No	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
3	Si	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
4	No	1	1	0	0	0	0	1
5	No	1	1	0	0	0	0	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma
Autore: HANSEN (1970)
Pressione limite 1020,71 kN/m²
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
Costante di Winkler 40828,37 kN/m³

A1+M1+R 1

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	5,8
Fattore [Nc]	13,93
Fattore [Ng]	2,48
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,4
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,96
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,31
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,96
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,89
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Pressione limite 1639,64 kN/m²

verificata

VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R1)

Adesione terreno fondazione	79kN/m²	
Angolo di attrito terreno fondazione	19°	
Frazione spinta passiva	0	%
Resistenza di progetto	459,39	kN
Sollecitazione di progetto Vsd	19	kN

verificata

A2+M2+R 2
Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)
==========

Fattore [Nq]	4,09	
Fattore [Nc]	11,23	
Fattore [Ng]	1,28	
Fattore forma [Sc]	1,0	
Fattore profondità [Dc]	1,4	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,96	
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0	
Fattore forma [Sq]	1,0	
Fattore profondità [Dq]	1,3	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,97	
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0	
Fattore forma [Sg]	1,0	
Fattore profondità [Dg]	1,0	
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,89	
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	

==========

Pressione limite	1067,39	kN/m²

verificato
==========

VERIFICA A SCORRIMENTO (A2+M2+R2)
==========

Adesione terreno fondazione	79kN/m²	
Angolo di attrito terreno fondazione	19	°
Frazione spinta passiva	0	%
Resistenza di progetto	445,96	kN
Sollecitazione di progetto Vsd	15	kN

verificato
==========

Sisma

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

==========

Fattore [Nq]	4,09	
Fattore [Nc]	11,23	
Fattore [Ng]	1,28	
Fattore forma [Sc]	1,0	
Fattore profondità [Dc]	1,4	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,94	
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0	
Fattore forma [Sq]	1,0	
Fattore profondità [Dq]	1,3	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,95	
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0	
Fattore forma [Sg]	1,0	
Fattore profondità [Dg]	1,0	
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,82	
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0	
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0,95	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0,95	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0,99	

==========

Pressione limite	1020,71	kN/m²

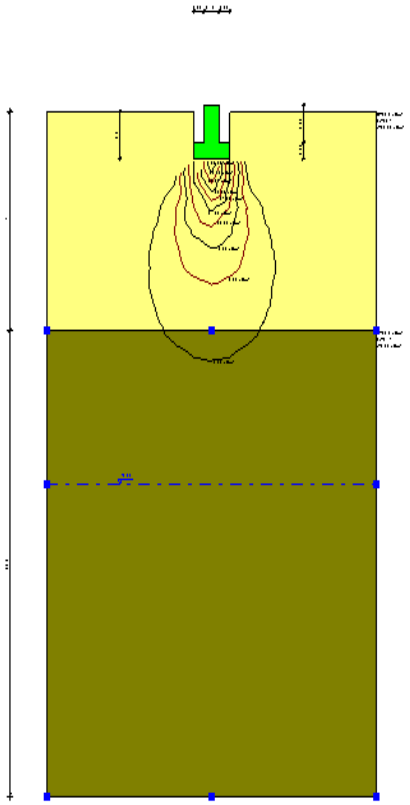
Verificata

==========

VERIFICA A SCORRIMENTO (Sisma)

==========

Adesione terreno fondazione	79kN/m²	
Angolo di attrito terreno fondazione	19	°
Frazione spinta passiva	0	%
Resistenza di progetto	437,35	kN
Sollecitazione di progetto Vsd	25	kN
verificata		



CEDIMENTI PER OGNI STRATO
***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**
Pressione normale di progetto 23,60 kN/m²
Cedimento dopo T anni 15,0
Cedimento totale 0,45 cm
Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws:Cedimento secondario (deformazioni viscose); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m²)	Dp (kN/m²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2,85	55,29	3,283	Edometrico	0,39	--	0,39
2	9,7	182,908	0,.312	Edometrico	0,06	--	0,06

CEDIMENTI PER OGNI STRATO con sisma
***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**
Pressione normale di progetto 23,80 kN/m²
Cedimento totale 0,45 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws:Cedimento secondario (deformazioni viscose); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m²)	Dp (kN/m²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2,85	55,29	3,283	Edometrico	0,39	--	0,39
2	9,7	182,908	0,.312	Edometrico	0,06	--	0,06

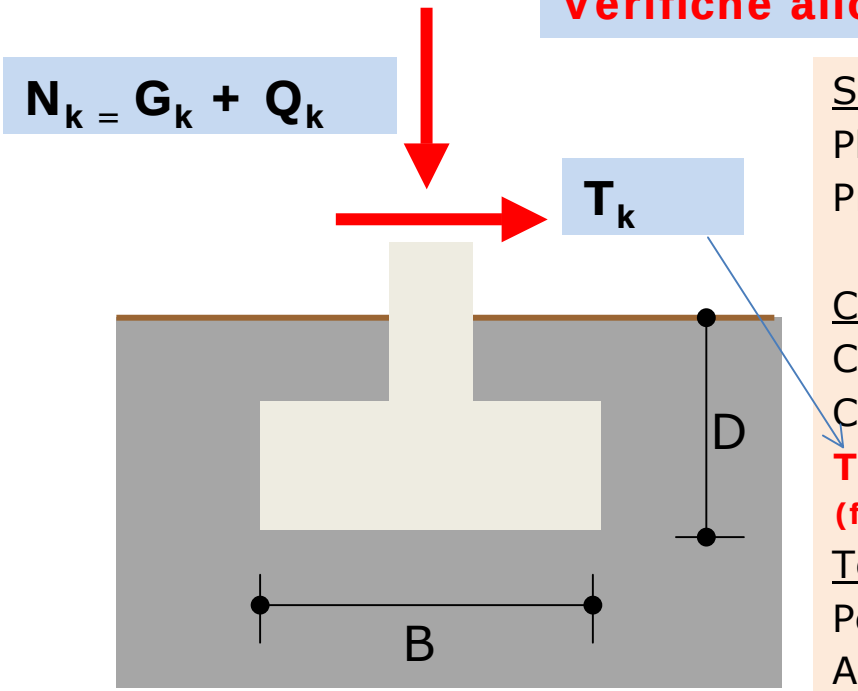
CEDIMENTI AMMISSIBILI

Tipo di movimento	*Fattore di limitazione*	*Valore ammissibile*
Cedimento	Collegamento a reti di servizi Accesso Probab. di cedimenti differenziali • murature portanti • strutture intelaiate • ciminiere, silos	15 ÷ 30 cm 30 ÷ 60 cm 2,5 ÷ 5 cm 5 ÷ 10 cm 7,5 ÷ 30 cm
Rotazione rigida (*tilt*)	Stabilità al ribaltamento Rotazione di ciminiere, torri operatività di macchine • macchine tessili • turbogeneratori Binari di carro ponte Drenaggio di sup. pavimentate	Dipende dall'altezza e dal peso 0,04 *H* 0,003 *L* 0,0002 *L* 0,003 *L* 0,01 ÷ 0,02 *L*
Cedimenti differenziali	Murature portanti multipiano Murature portanti ad un piano Lesioni di intonaci Telai in c.a. Pareti di strutture a telaio in c.a. Telaio in acciaio Strutture semplici in acciaio	0,0005 ÷ 0,001 *L* 0,001 ÷ 0,02 *L* 0,001 *L* 0,0025 ÷ 0,004 *L* 0,003 *L* 0,002 *L* 0,005 *L*

L = distanza fra due pilastri adiacenti.
I valori ammissibili più elevati si riferiscono a strutture più flessibili ed a condizioni di sottosuolo uniformi; i più ridotti a strutture rigide e condizioni di sottosuolo irregolari.

ESEMPIO DI CALCOLO - *Progettazione per azioni sismiche*

Verifiche allo SLU di fondazioni superficiali



Struttura:

Plinto quadrato, B = 2.00 m

Profondità, D = 1.00 m

Carichi:

Carichi permanenti strutturali, G_k = 400 kN

Carichi variabili, Q_k = 150 kN

Taglio sismico, T_k = 0.1 x (400+150) = 55 kN

(fornito dallo strutturista). Di regola Tk = Nk .khi

Terreno incoerente omogeneo, falda assente:

Peso unità di volume, γ = 20 kN/m^3

Angolo di attrito, φ'_k = 30°

In condizioni sismiche ($A\gamma_F$=1) →**Verifiche (SLU) - Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) .**

1° Verifica in condizioni statiche **A2+M2+R2**

2° Verifica in condizioni dinamiche

- Collasso per scorrimento sul piano di posa

$$T_d \equiv T_k \leq \frac{1}{\gamma_R}\left[N_k \cdot \frac{\tan(\varphi'_k)}{\gamma_\varphi}\right]$$

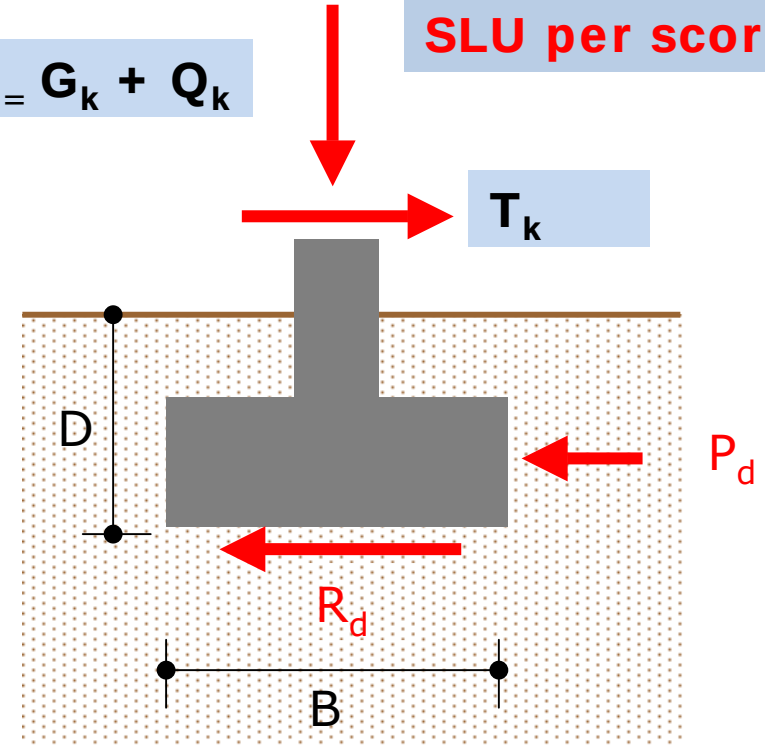
- Collasso per carico limite del complesso "terreno + fondazione"

$$N_d \equiv N_k \leq \frac{1}{\gamma_R}\left[i_q s_q N_q \gamma D + i_\gamma s_\gamma N_\gamma \gamma \frac{B}{2}\right]B^2$$

(Modificato da Silvestri, 2008)

SLU per scorrimento di fondazioni superficiali

$N_k = G_k + Q_k$



Approccio D1.C2 (GEO)
(A2+M2+R2)

Ipotesi a favore di sicurezza:
si trascura la resistenza passiva P_d
lungo la superficie laterale
della fondazione

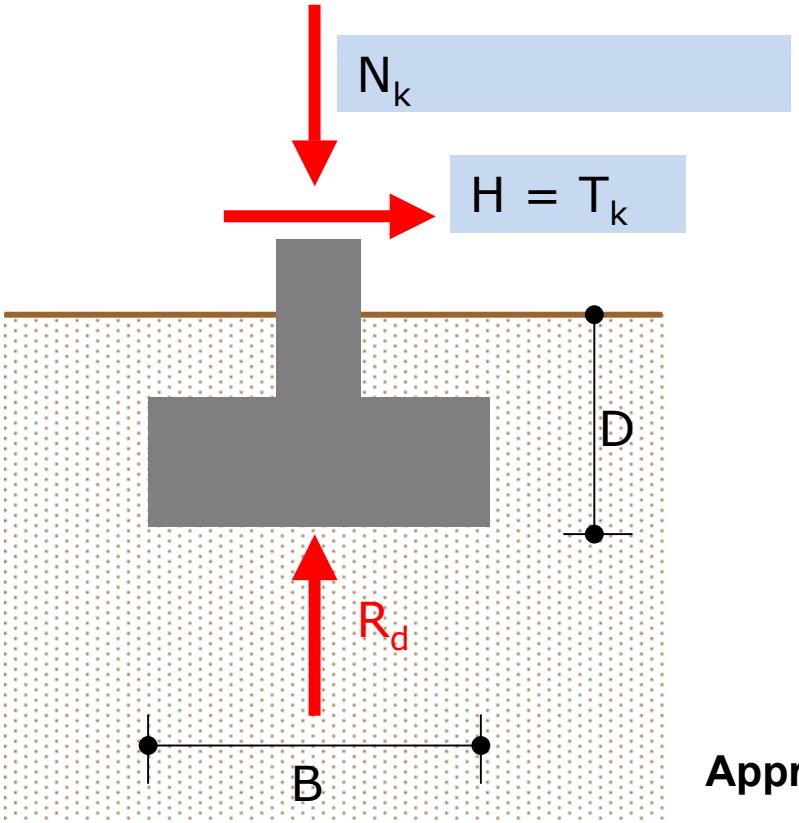
$\phi'k = 30°$ $\phi'd = 24.7°$

Collasso per scorrimento sul piano di posa

$$T_d \equiv T_k \leq \frac{1}{\gamma_R}\left[N_k \cdot \frac{\tan(\varphi'_k)}{\gamma_\varphi}\right]$$

	T_k (kN)	G_k (kN)	Q_k (kN)	N_k (kN)	γ_M	$\tan(\varphi)$	$\tan(\varphi)/\gamma_M$	γ_R	R_d (kN)	R_d/T_k
A1-C1	55	400	150	550	1.00	0.577	0.577	1.00	317	5.77
A1-C2	**55**	**400**	**150**	**550**	**1.25**	**0.577**	**0.462**	**1.10**	**231**	**4.20**
A2	55	400	150	550	1.00	0.577	0.577	1.10	288	5.25

SLU per carico limite di fondazioni superficiali



Coefficienti di carico limite

$$N_q = k_p \cdot e^{\pi \cdot \tan(\varphi')}$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi')$$

Coefficienti di forma

$$s_q = 1 + sen(\varphi')$$

$$s_\gamma = 0.7$$

Coefficienti di inclinazione

$$i_q = \left(1 - \frac{T_k}{N_k}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{T_k}{N_k}\right)^{\frac{5}{2}}$$

Approccio D1.C2 (GEO) (A2+M2+R2)

Collasso per carico limite del complesso terreno + fondazione

$$N_d \equiv N_k \leq \frac{1}{\gamma_R}\left[i_q s_q N_q \gamma D + i_\gamma s_\gamma N_\gamma \gamma \frac{B}{2}\right] B^2$$

	γ_M	$\tan(\varphi)/\gamma_M$	i_q	s_q	N_q	i_γ	s_γ	N_γ	γ_R	R_d (kN)	R_d/N_k
A1-C1	1.00	0.577	0.85	1.54	18.36	0.77	0.70	20.03	1.00	2786	5.06
A1-C2	**1.25**	**0.462**	**0.85**	**1.46**	**12.78**	**0.77**	**0.70**	**10.88**	**1.80**	**965**	**1.75**
A2	1.00	0.577	0.85	1.54	18.36	0.77	0.70	20.03	2.30	1211	2.20

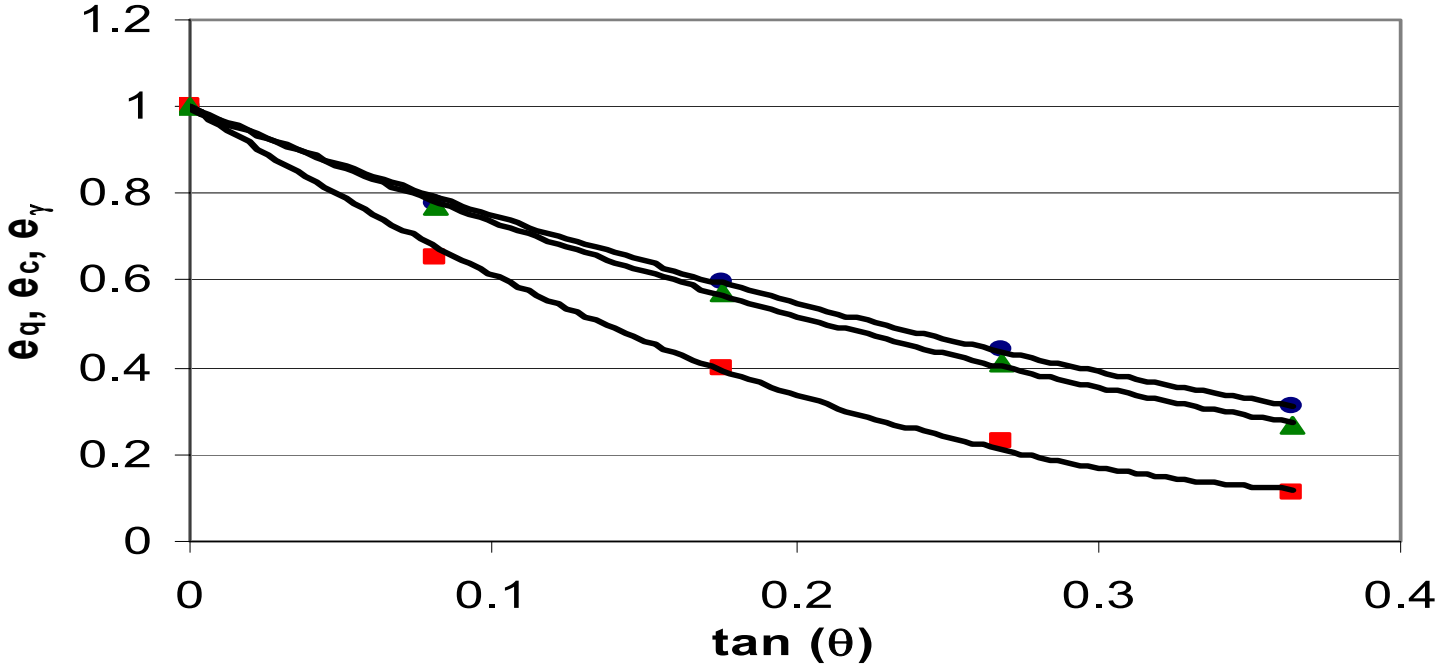
Riduzione del carico limite per effetto delle azioni inerziali

Metodo di Richards et al. (1993)

$$\theta = \arctan\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

per carico limite

$$N_{\lim} = \left[e_q i_q s_q N_q \gamma D + e_\gamma i_\gamma s_\gamma N_\gamma \gamma \frac{B}{2} \right] B^2$$



	γ_M	$\tan(\varphi)/\gamma_M$	e_q	i_q	s_q	N_q	e_γ	i_γ	s_γ	N_γ	γ_R	R_d (kN)	R_d/N_k
A1-C2	1.25	0.462	-	0.85	1.46	12.78	-	0.77	0.70	10.88	1.80	965	1.75
A1-C2 rid	**1.25**	**0.462**	**0.75**	**0.85**	**1.46**	**13.80**	**0.60**	**0.77**	**0.70**	**13.81**	**1.80**	**685**	**1.25**