

DOCUMENTO redatto da AEDES Software (06.08.2019)

a cura di: Ing. Alessio Francioso, Ing. Francesco Pugi, Ing. Sara Banchieri

STATI LIMITE: DOMANDA, CAPACITA' E INDICATORE DI RISCHIO

Oggetto: **Calcolo della domanda di spostamento, della capacità e dell'indicatore di rischio sismico, con particolare attenzione allo stato limite di collasso SLC** (il calcolo di ζ_E per SLC non è gestito automaticamente dalla versione corrente di PCM; la sua implementazione è prevista nel corso dei prossimi aggiornamenti).

Edifici in muratura

- §7.8.1.1: le costruzioni in muratura sono moderatamente dissipative e quindi appartengono alla classe di duttilità CD "B"
- Tab. 7.3.III in §7.3.6: caso di comportamento strutturale dissipativo: verifiche in termini di RIG; RES; e: DUT quando richiesto (in calce alla tabella: (DUT) nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme).
Le verifiche (DUT) sono le uniche richieste per SLC.
Le verifiche di duttilità DUT sono richieste espressamente solo nei capitoli relativi a: calcestruzzo armato, acciaio, acciaio-calcestruzzo, ponti.
- In analisi lineare non vi è indicazione su come eseguire verifiche per SLC, che secondo la Tab. 7.3.III sono solo di tipo (DUT) e quindi agli spostamenti. Premesso che per (DUT), per quanto prima osservato, per gli edifici in muratura non sono richieste verifiche, gli spostamenti a SLC sono facilmente ottenibili moltiplicando per 1.25 gli spostamenti a SLV (secondo §7.3.3.3), ma poi non è chiaro come vadano utilizzati ai fini di verifiche in analisi lineare. Non sembra corretto confrontarli col drift in quanto i drift sono definiti per l'analisi statica non lineare (§7.8.2).
- Date le carenze per la verifica SLC in analisi lineare, rivolgiamo l'attenzione all'analisi pushover: per la pushover, invece, il percorso di verifica per SLC è chiaro e verrà illustrato ai paragrafi seguenti.
Ricordiamo che non vi è obbligo di verifica per SLC perlomeno per gli edifici esistenti: infatti essa è alternativa a SLV (§C8.7.1).
- Infine, si osservi che se l'obiettivo è la definizione di un indicatore di rischio, la Normativa vigente relativa alla classificazione sismica (sismabonus) (D.M. 65 del 07.03.2017, §2.1) consente la definizione di ζ_E per SLC direttamente a partire da ζ_E per SLV, e questo può quindi essere utilizzato per ricavare in modo indiretto dai risultati di un'analisi lineare (ζ_E per SLV) anche il risultato relativo a SLC $\zeta_{E,SLC}$, secondo le seguenti operazioni:

$$\lambda_{\text{SLC}} = 0.49 \lambda_{\text{SLV}},$$

e poiché: $\lambda=1/\text{TRC}$, si ha: $\text{TRC}_{\text{SLC}} = \text{TRC}_{\text{SLV}}/0.49$

quindi la capacità in termini di TR per SLC si ricava dalla capacità in termini di TR per SLV (dato ricavabile dall'analisi sismica lineare).

I periodi di ritorno TR e le accelerazioni al suolo PGA in termini di capacità C e di domanda D sono legati tra loro dalla relazione:

$\text{TRC}=\text{TRD} (\text{PGAC}/\text{PGAD})^\eta$, si ha:

$$\zeta_{\text{E,SLC}} = \text{PGAC}_{\text{SLC}}/\text{PGAD}_{\text{SLC}} = (\text{TRC}_{\text{SLC}} / \text{TRD}_{\text{SLC}})^{(1/\eta)}, \text{ con } \eta=0.41$$

e quindi essendo stato calcolato TRC_{SLC} , ed essendo nota la domanda TRD_{SLC} , è immediato ricavare $\zeta_{\text{E,SLC}}$.

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Sia d_{max}^* la domanda di spostamento per il sistema anelastico.

Se $T^* \geq T_C$:

$$d_{max}^* = d_{e,max}^*$$

Se $T^* < T_C$:

$$d_{max}^* = \frac{d_{e,max}^*}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \geq d_{e,max}^*$$

dove $q^* = S_e(T^*)m^*/F_y^*$ è il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

Se risulta $q^* \leq 1$ allora si ha $d_{max}^* = d_{e,max}^*$.

Infine, la domanda di spostamento per il sistema reale è data da:

$$d_{max}^* \cdot \Gamma$$

Nota

Questa procedura permette di calcolare la domanda di spostamento per qualsiasi stato limite.

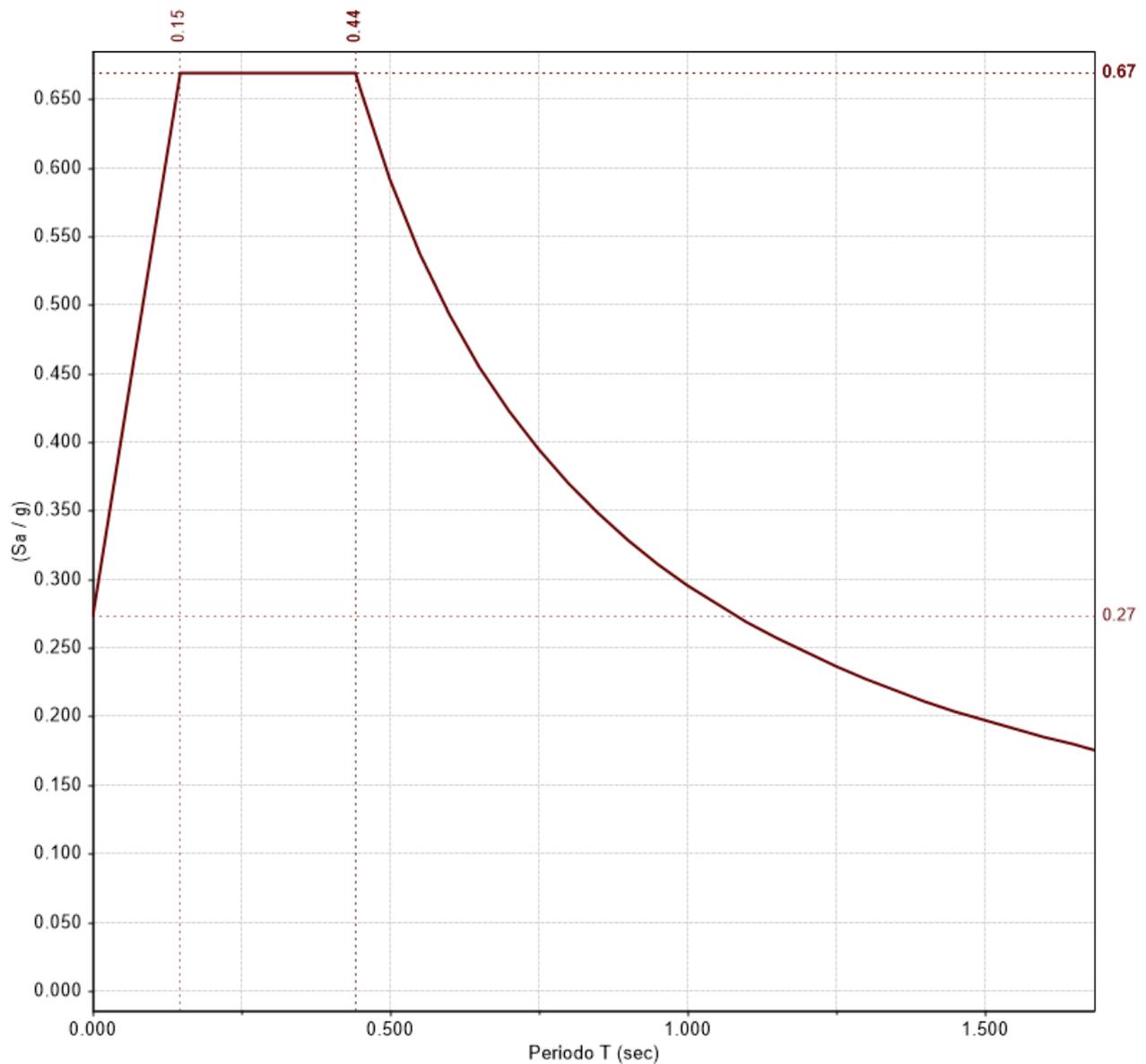
Le uniche grandezze che differiscono per i vari stati limite sono:

- lo spettro elastico in accelerazione (S_e)
- il periodo notevole T_C

In particolare, per calcolare la domanda di spostamento per SLC occorre fare riferimento ai relativi valori di queste grandezze.

Il valore dello spettro elastico in accelerazione per SLC in corrispondenza del periodo T^* , può essere ricavato velocemente e con buona approssimazione nella finestra "Azione Sismica".

È sufficiente visualizzare lo spettro elastico SLC e muovere il puntatore sulla linea dello spettro in corrispondenza del periodo T^* . In basso a sinistra è possibile leggere le coordinate del punto in cui si trova il puntatore del mouse e quindi risalire al valore di $S_e(T^*)$. (figura seguente)



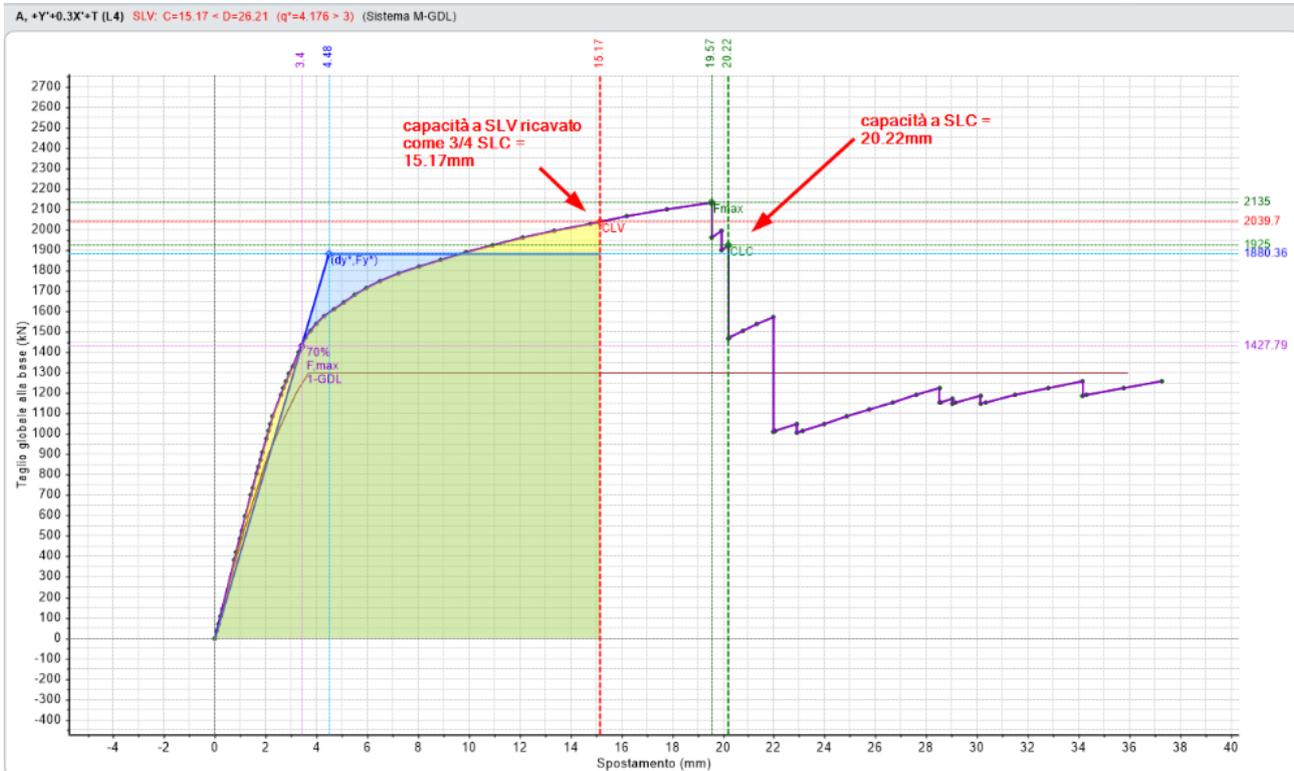
— SLC: SeX

$T = 0.303$ sec, $S_a = 0.667$ g

Il procedimento indicato è da utilizzarsi per calcolare la domanda di spostamento per SLC da confrontarsi con la capacità, indicata nella curva pushover, ed effettuare così la VERIFICA a SLC.

ANALISI STATICA NON LINEARE: CALCOLO CAPACITA' DI SPOSTAMENTO

La capacità in spostamento in SLC viene sempre calcolata con le NTC2018 in quanto la curva viene sempre portata fino a SLC. Poi la capacità a SLV viene calcolata come pari a 3/4 della capacità SLC, per esempio:



Nel diagramma della curva Pushover potrebbero esserci due linee tratteggiate CLC, una grigia e una verde, oppure solo quella verde. Le due linee si hanno quando la capacità è stata ridotta per soddisfare il requisito $q^* < 4$ per l'azione sismica in input. Per calcolare l'indicatore di rischio sismico secondo la procedura manuale che descriviamo bisogna fare riferimento alla CLC pura (non ridotta per q^*). Quindi bisogna considerare la linea grigia e in mancanza di questa, considerare la linea verde.

ANALISI STATICA NON LINEARE: CALCOLO DELL'INDICATORE DI RISCHIO SISMICO ζ_E

L'indicatore di rischio sismico ζ_E , invece, è da calcolarsi con un processo iterativo che per SLV viene effettuato automaticamente dal programma. Per SLC, in attesa dell'implementazione della procedura automatica in PCM prevista nel corso dei prossimi aggiornamenti, è possibile effettuare il calcolo manualmente.

Supponiamo che la verifica capacità < domanda non sia soddisfatta: per il calcolo dell'indicatore si dovrà diminuire lo spettro così da trovare una condizione in cui la domanda sia uguale o inferiore alla capacità e q^* sia < 4.

Procedendo come descritto prima quindi si dovrà calcolare la domanda in spostamento per uno spettro con TR inferiore a quello di progetto. Può essere ricavato da "Azione Sismica" modificando la probabilità di superamento PVR, aumentandola progressivamente per tentativi a partire dal valore 5 di default:

Probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R (Tab. 3.2.I)
 Tempo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$

Stati Limite	P.VR (%)	T.R (anni)
SLO	81	45
SLD	63	75
SLV	10	712
SLC	5	1462

Per esempio inserendo 8 si trova: TR=899 anni

Quando si trova il valore con cui la verifica diventa soddisfatta, si ricava in questo modo sia TR che $PGA = ag \cdot S$ da rapportare alla domanda originaria in termini di TR e di PGA per SLC, ottenendo così l'indicatore di rischio.

Vita nominale (anni): $V_N =$

Classe d'uso:

Coefficiente d'uso: $C_U = 1.5$

Periodo di riferimento per l'azione sismica (anni): $V_R = V_N \cdot C_U = 75$

Probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R (Tab. 3.2.I)
 Tempo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$

Stati Limite	P.VR (%)	T.R (anni)
SLO	81	45
SLD	63	75
SLV	10	712
SLC	8	899

Parametri di Spettro

Approccio semplificato secondo Normativa:

Stati Limite	T.R (anni)	Orizzontale							Verticale					
		a.g (g)	S.S	S	F.o	T.B (sec)	T.C (sec)	T.D (sec)	a.g (g)	S	F.v	T.B (sec)	T.C (sec)	T.D (sec)
SLO	45	0.058	1.200	1.200	2.524	0.131	0.393	1.832	0.058	1.000	0.821	0.050	0.150	1.000
SLD	75	0.071	1.200	1.200	2.497	0.133	0.398	1.884	0.071	1.000	0.898	0.050	0.150	1.000
SLV	712	0.169	1.200	1.200	2.433	0.146	0.438	2.276	0.169	1.000	1.350	0.050	0.150	1.000
SLC	899	0.182	1.200	1.200	2.440	0.147	0.441	2.328	0.182	1.000	1.405	0.050	0.150	1.000

Se per trovare la verifica soddisfatta per SLC è necessario aumentare PVR più del 10%, è contemporaneamente necessario modificare PVR anche per SLV perchè PVR per SLV deve essere sempre maggiore di PVR per SLC.