



Aspetti strutturali sull'interazione tra strutture ed impianti durante l'azione del sisma

BELLUNO, 22 novembre 2013

Ing. Mirco D'Alpaos

studiomdalpaos@alice.it



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Generalmente l'interazione tra progettazione strutturale e impiantistica segue un approccio di tipo convenzionale

Approccio convenzionale

- è di tipo lineare
- lo strutturista e l'impiantista sono coinvolti nella progettazione in sequenza
- il risultato finale non è sotto controllo

Approccio integrato

- la progettazione è integrata fin dalle prime fasi
- non ci sono improvvisazioni in fase realizzativa
- il risultato finale è quello previsto

E' importante sottolineare che risulta fondamentale per il mantenimento sotto controllo del risultato finale il passaggio da approccio convenzionale a integrato



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

interazione struttura –
impianto esistente





VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI



le interazione struttura – impianto esistente



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI



Approccio integrato interazione struttura –
impianto edificio nuovo



NTC 2008

2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

2.1 Principi fondamentali

[...]

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. **Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata**. In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:[...]

Per la zona sismica la normativa definisce
4 stati limite



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

2.4.2 CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I : Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II : Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III : Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV : Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Per quanto riguarda le classi d'uso III e IV, l'elenco completo delle costruzioni di competenza statale, sono contenute nel **Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n° 3685 del 21 ottobre 2003** mentre quelle di competenza regionale, nella **DGRV n° 3645 del 28 novembre 2003**. Per edifici il cui collasso può determinare danni significativi al patrimonio storico, artistico e culturale (quali ad esempio musei, biblioteche, chiese) vale quanto riportato nella **"Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri"** per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni del **12.10.2007**.

Tabella C.2.4.I - Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U

VITA NOMINALE V_N	VALORI DI V_R			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Occorre infine ricordare che le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative V_N previste in progetto siano inferiori a 2 anni.



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli **impianti**.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le **apparecchiature rilevanti** alla sua funzione, **non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi** ;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le **apparecchiature rilevanti** alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, **mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature**.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed **impiantistici** e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed **impiantistici** e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

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

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Tabella C.3.2.I.- Valori di T_R espressi in funzione di V_R

Stati Limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$(^3) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Il picco di accelerazione a_g



Northridge, Los Angeles 1994 $a_g = 1.92 \text{ g}$



L'Aquila 2009 $a_g = 0.28 \text{ g}$



Fukushima 2011 $a_g = 0.18 \text{ g}$



Mirandola 2012 $a_g = 0.30 \text{ g}$



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

SPETTRO ELASTICO SLO

Title: Horizontal-Spectrum-NTC - Comune Belluno (BL) - SLO q=1 VR=50 Suolo=A Topo=T1 h/H=0

Create Ti

Normativa: NTC 2008

Ricerca Sito

VR 50 Stato Limite SLO

a_g 0,058 Fo 2,484 Tc* 0,237

Suolo A Ss 1,000 Cc 1,000

Topo T1 h/H 0 S_T 1,000

Comp. ☒ Horizontal ☐ Vertical

Behaviour Factor q 1

n° of points 20 +5

SIMQKE

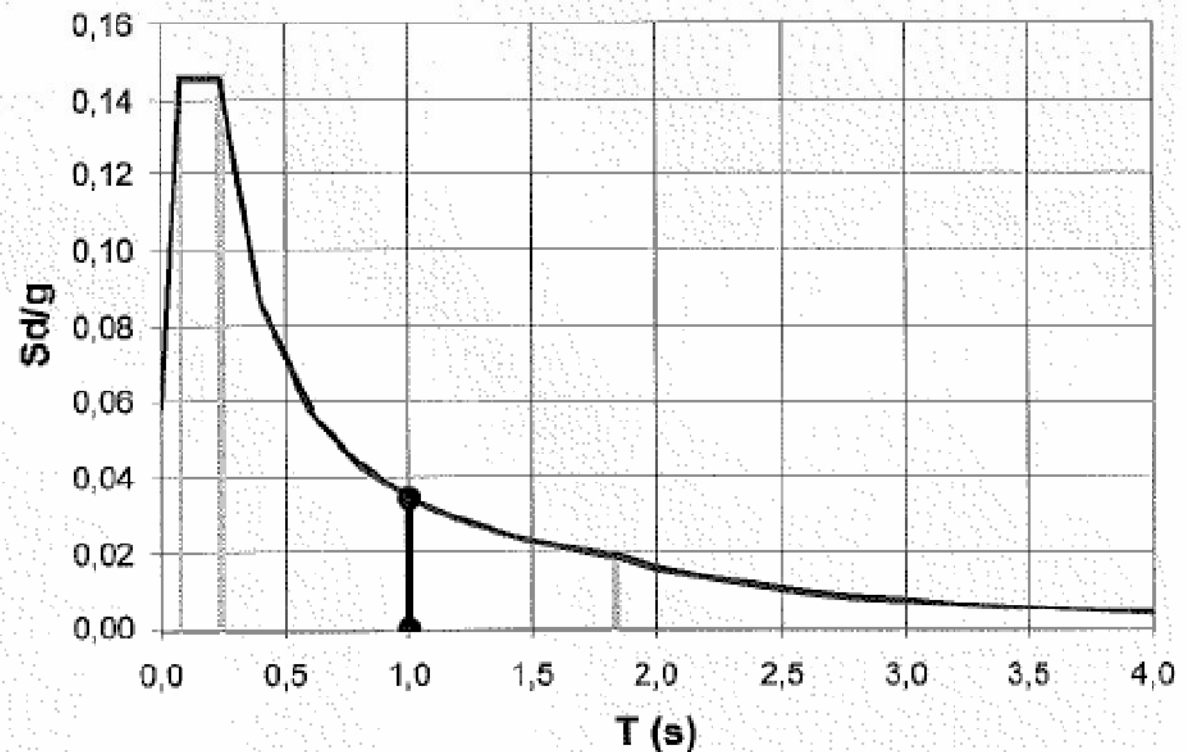
T 1 s

f 1 Hz S_d 0,034 x g

ω 6,283 rad/s

d_g 0,00623 m v_g 0,0217 m/s

Spettro di progetto SLO





VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

SPETTRO DI PROGETTO PER GLI STATI LIMITE ULTIMI

Title: **Horizontal-Spectrum-NTC - Comune Belluno (BL) - SLV q=3 VR=50 Suolo=A Topo=T1 h/H=0** [Create Title](#)

Normativa: **NTC 2008**

[Ricerca Sito](#)

V_R **50** Stato Limite **SLV**

a_g **0,230** F_0 **2,412** T_c^* **0,325**

Suolo **A** S_s **1,000** C_c **1,000**

Topo **T1** h/H **0** S_T **1,000**

Comp. ☒ Horizontal ☐ Vertical

Behaviour Factor q **3**

n° of points **20** + 5

SIMQKE

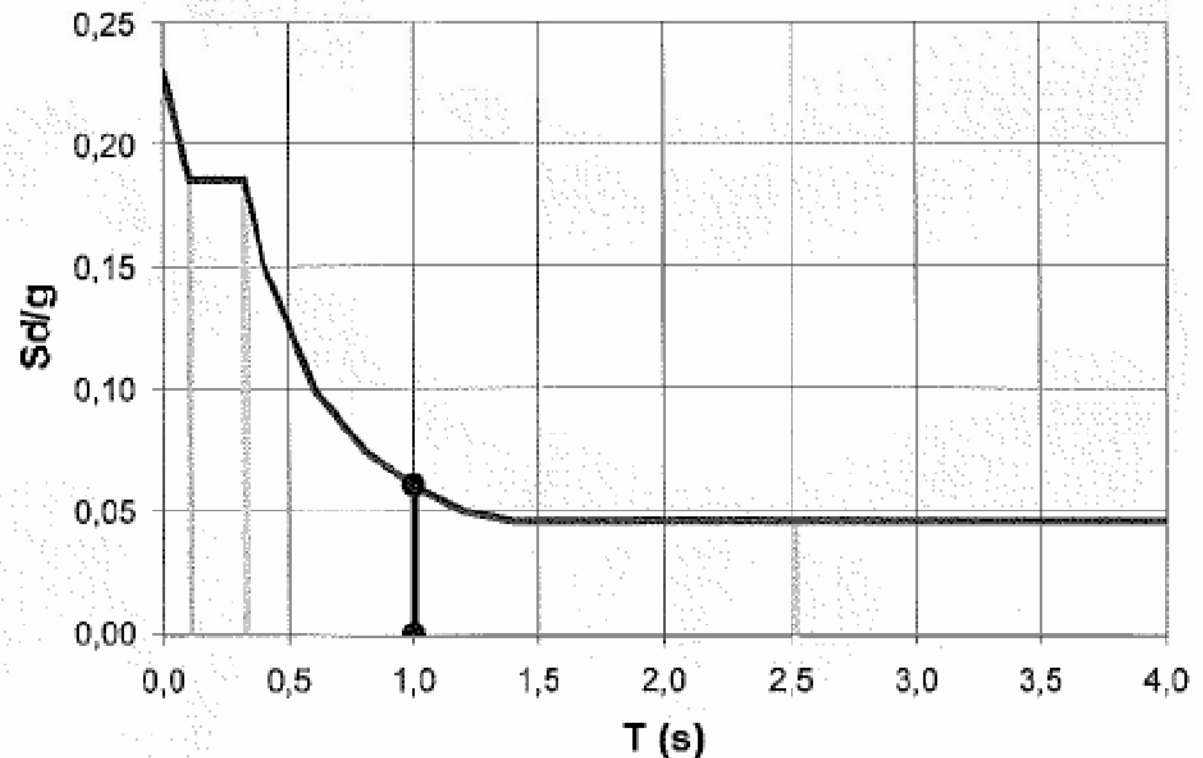
T **1** s

f **1** Hz S_d **0,060** x g

ω **6,283** rad/s

d_g **0,0463** m v_g **0,117** m/s

Spettro di progetto SLV





VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Il problema degli spostamenti
nelle strutture isolate
sismicamente

la tubazione di adduzione del
gas deve essere progettata in
modo tale da sopportare senza
rotture i massimi spostamenti
relativi edificio -terreno.



3.2.3.3 Spostamento orizzontale del terreno

Il valore dello spostamento orizzontale d_g massimo del terreno è dato da:

$$d_g = 0,025 \times a_g \times S \times T_c \times T_d$$



7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

7.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

Sotto l'effetto delle azioni sismiche definite nel § 3.2, deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio, quali definiti nel § 3.2.1 ed individuati riferendosi alla prestazione della costruzione nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, le strutture di fondazione, gli elementi non strutturali, **gli impianti**.

In mancanza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito :

- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo **SLD**;
- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel seguito e siano soddisfatte le verifiche relative al solo **SLV**.

Fanno eccezione a quanto detto le costruzioni di **classe d'uso III e IV**, per gli elementi non strutturali e **gli impianti** delle quali è richiesto anche il rispetto delle verifiche di sicurezza relative allo **SLO** quali precisate nei §§ 7.3.7.2 e 7.3.7.3.



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

7.2.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI “SECONDARI” ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

[...] Sia la rigidezza che la resistenza di tali elementi vengono ignorate nell'analisi della risposta... Tali elementi tuttavia devono essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali; [...]

Gli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando a detti elementi una forza orizzontale F_a definita come segue:

$$F_a = (S_a W_a) / q_a \quad (7.2.1)$$

dove:

F_a : è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole;

W_a : è il peso dell'elemento;

S_a : è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (si veda il paragrafo 3.2.1);

q_a : è il fattore di struttura dell'elemento.

In assenza di specifiche determinazioni, per q_a si possono assumere i valori riportati in tabella 7.2.1.

S_a = accelerazione massima che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

In assenza di **specifiche determinazioni**, per q_a

Tabella 7.2.I – Valori di q_a per elementi non strutturale

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	2,0
Tramezzature e facciate	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Per determinare la forza agente si tratta semplicemente di applicare la seconda legge di Newton $F = m \times g$ con opportune modifiche

$$F_a = (S_a W_a) / q_a \quad (7.2.1)$$

F_a = forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole

S_a = accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma

W_a = peso dell'elemento

q_a = fattore di struttura dell'elemento



Dove:

$$S_a = \alpha S \left[\frac{3 (1 + z/H)_i}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]$$

(7.2.2)

α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

$$S = S_s \times S_t \quad (3.2.5)$$

T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione

H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

Per le strutture con isolamento sismico si assume sempre $Z = 0$.

Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere assunto minore di αS .



VULNERABILITA' SISMICA DEGLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI

Risulta evidente che per contenere le forze sismiche dovrò cercare di rendere minimo il parametro fra parentesi quadre agendo sui valori di Z e T_a .

Inoltre qualora il periodo fondamentale di vibrazione del componente T_a fosse sconosciuto a favore della sicurezza dovrò considerare $T_a = T_1$

$$z = 0$$

$$\left[\frac{3 (1 + z/H)_i}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]$$

$$T_a = 0 \rightarrow 1.0$$

$$T_a = T_1 \rightarrow 2.5$$

$$z = H$$

$$\left[\frac{3 (1 + z/H)_i}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]$$

$$T_a = 0 \rightarrow 2.5$$

$$T_a = T_1 \rightarrow 5.5$$