

OGGETTO: PRECISIONE O SICUREZZA?

ABSTRACT:

Le Norme sulle strutture antisismiche attualmente in vigore, D.M. 14/01/2008 e C.M. n° 617 del 02/02/2009, derivano dalle ricerche più recenti in materia e sono indiscutibilmente orientate ad ottenere risultati della massima precisione.

Si intende esaminare tre aspetti della Normativa in cui nonostante la ricerca della massima precisione, si possono ottenere risultati non del tutto affidabili dal punto di vista della sicurezza.

- Individuazione del sito
- Procedure automatizzate di calcolo, e responsabilità del tecnico.
- Spettro di risposta in termini di accelerazione

01 Individuazione del sito

Nelle Norme è previsto che il sito sia individuato in base alle coordinate geografiche di latitudine e longitudine, ordinariamente fornite con una precisione di 4 decimali: tale precisione corrisponde ad una distanza di circa 8 metri per la longitudine e di circa 11 metri per la latitudine.

Definita la localizzazione geografica si individua la posizione rispetto al reticolo di 10751, avente maglie di circa 7.5 km, punti esteso a tutto il territorio nazionale e riportato nel DM 14.01. 2008 ; per ogni punto del reticolo sono indicate le coordinate ed i valori della accelerazione al suolo per diversi tempi di ritorno.

AmMESSO di aver trovato le coordinate giuste si deve attuare una procedura di calcolo utilizzando i dati associati ai quattro punti più vicini: tale procedura, piuttosto difficoltosa da gestire manualmente data la mole di dati, è in genere svolta in automatico dai software di calcolo (e anche da un software gratuito fornito dal Ministero dei LL PP). Nei software, però, c'è l'avvertimento che il produttore non si assume la responsabilità di eventuali malfunzionamenti del programma: in una parola il software non è certificato e la responsabilità è tutta del tecnico.

La procedura di calcolo assomiglia a quella per il tracciamento delle curve di livello topografiche: si presume che la variazione di quota tra due punti noti sia di tipo lineare, e ciò permette di disegnare un piano a curve di livello che dà un'idea della topografia, ma non tiene conto che tra due punti noti potrebbe esserci anche una variazione non lineare o, addirittura, una discontinuità altimetrica.

Analogamente avviene con il calcolo delle caratteristiche sismiche di un punto compreso tra quattro punti noti: dato che la distanza tra i punti noti è dell'ordine di qualche chilometro (la distanza media è di circa 7,5 km) , il risultato, pur se numericamente

esatto, non può tenere conto di discontinuità geologiche locali, a meno di microzonazioni locali presenti però solo in alcuni comuni.

Va rilevato che i dati delle coordinate geografiche e delle accelerazioni associati ai 10751 punti della rete, sono contenuti in ben 211 pagine all'interno dell'allegato A, tabella T1 del DM 14.01.2008; una quantità enorme di dati: siamo sicuri che non ci siano stati errori di stampa? E siamo sicuri che i dati siano stati trasferiti senza errori nei vari software di calcolo, compreso quello del Ministero dei LL.PP.?

Va sottolineato che, anche all'interno di uno stesso piccolo Comune, non esistono due siti aventi le stesse caratteristiche: questo rende particolarmente difficoltoso il controllo, per semplice confronto, di un elemento di importanza fondamentale per la determinazione delle azioni di calcolo sismiche sulla struttura, sia da parte del tecnico progettista che da parte degli uffici del Genio Civile, operazione che, nella Normativa precedente, era svolta senza la minima difficoltà.

Considerando le numerose possibilità di errore della procedura e gli eventuali errori dei software, non rilevabili facilmente dal tecnico né dai successivi eventuali controlli, si potrebbe semplificare la procedura con la stesura di carte individuanti le zone di varia pericolosità sismica mediante diverse colorazioni: se le carte venissero realizzate usando come base mappe geografiche (come quelle del U.S.G.S. negli U.S.A.), le caratteristiche sismiche di un sito sarebbero individuabili immediatamente e facilmente dal tecnico con margini di errore ridotti a zero, e con la possibilità, da parte degli Uffici pubblici, di effettuare il controllo con estrema facilità.

02 Procedure automatizzate di calcolo e responsabilità del tecnico

Le attuali Norme Tecniche sono contenute nel DM 16.01.2008 e nella C.M. 167 del 02/02/2009: sono circa 875 pagine (esclusi i tabulati) con le varie parti degli argomenti trattati seminate a pioggia in più punti, sia del decreto che della Circolare esplicativa: la parte più difficile, molto spesso, non è rispettare le Norme, ma riuscire a trovarle.

Va evidenziato, che prescrizioni anche di notevole importanza, spesso sono "nascoste" in sottoparagrafi che riguardano argomenti non direttamente attinenti.

Ad esempio l'importante prescrizione di incrementare con un coefficiente di 1.40 le sollecitazioni dei livelli con significativa riduzione di tamponature (ad esempio un piano pilotis) , è indicata al punto 7.2.3 del D.M. 14/01/2008, in un capitolo che parla di "Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari, ed elementi non strutturali".

Ci si potrebbe chiedere il motivo di inserire in modo brutale un coefficiente moltiplicativo di 1.4 (perché non di 1.3 o di 1.5 ?) in una metodologia che pretende di essere ultraprecisa, ma almeno si può chiedere di esporre le Norme relative ai vari argomenti con un minimo di organicità, magari (ma forse è fantascienza) in un ipertesto

che consenta di al tecnico di reperire in tempo reale tutte le varie disposizioni riguardanti un certo argomento.

L'estrema complessità della procedure previste dalla attuale Normativa sia per la determinazione del sistema di forze orizzontali che per le verifiche degli elementi strutturali, appesantite da un numero a volte veramente eccessivo di condizioni di carico (molte delle quali assolutamente pleonastiche), e dalle successive verifiche della gerarchia, rende di fatto assolutamente impossibile lo svolgimento manuale dei calcoli.

Le Società produttrici di software hanno subito sviluppato programmi di calcolo che comprendono tutte le procedure per la valutazione dei carichi verticali e delle forze sismiche, l'elaborazione delle varie condizioni di carico, le verifiche statiche di travi e pilastri, la verifica delle gerarchie e al termine elaborano i disegni esecutivi della struttura con il disegno delle armature.

Tutte le procedure vengono svolte in automatico dal software, che fornisce i risultati finali sotto forma di tabulati e di disegni esecutivi; i sottoprogrammi che svolgono le varie procedure sono naturalmente non accessibili all'utente, al quale viene semplicemente comunicata, non sempre in modo esaustivo, la metodologia utilizzata: non è possibile all'utente intervenire in alcun modo sulla procedura di calcolo.

Su tutti i software, a cominciare da quello del Ministero dei LL.PP. per il calcolo della accelerazione a terra, viene evidenziato che la Società produttrice del software non si assume responsabilità su risultati forniti dal programma: in altre parole il software non è certificato e le responsabilità sono tutte a carico del tecnico che lo utilizza.

Nel campo aeronautico, tanto per fare un esempio, ci sono software che sovrintendono alla navigazione dell'aereo senza intervento del pilota, ma il loro funzionamento è certificato: in altre parole il programma, prima della fornitura agli utenti, è stato sottoposto ad una serie elevatissima di simulazioni che hanno evidenziato la mancanza di malfunzionamenti.

Nel nostro campo specifico, invece di richiedere per legge una certificazione dei programmi alle Società produttrici, la Normativa scarica la responsabilità di errori del programma sul tecnico utilizzatore, che, a norma del punto 10.1 e 10.2 del D.M. 14.01.2008, deve certificare lui stesso, lavoro per lavoro, l'attendibilità dei risultati forniti dal software.

Si ritiene tale pretesa del tutto assurda: se si costringe il tecnico ad utilizzare delle procedure talmente complesse da rendere indispensabile l'uso di procedure informatiche da lui non controllabili, occorre anche rendere disponibili strumenti informatici di provata affidabilità, in modo che il tecnico risulti responsabile solo delle scelte progettuali fatte e dei dati in input forniti al software, e non anche degli errori del software.

Ci si domanda se lo scopo da raggiungere sia stato quello di garantire la sicurezza dei cittadini o solo quello di trovare dei capri espiatori in caso di crolli.

I software, considerato anche il loro costo, dovrebbero tutti essere sottoposti a verifica presso gli istituti di ricerca scientifica delle Università e venduti solo con la certificazione di affidabilità ottenuta.

Una soluzione parallela e del tutto ragionevole, potrebbe quella essere di prevedere nella normativa delle procedure alternative di calcolo, meno complesse ma altrettanto valide dal punto di vista della sicurezza, da potersi svolgere manualmente o con procedure controllabili; dette procedure potrebbero essere utilizzate in via esclusiva, o venire utilizzate anche per il controllo dei risultati dei software più complessi.

Anche se può sembrare ovvio si ritiene necessario ribadire che lo scopo delle Normative è quello di garantire la sicurezza di coloro che utilizzano gli edifici; le norme, pur dovendo necessariamente derivare dalle più recenti e approfondite ricerche scientifiche, dovrebbero avere la caratteristica fondamentale di essere semplici, di facile applicazione e soprattutto di univoca interpretazione: più risultano semplici e di facile applicazione e maggiore è la probabilità che vengano interpretate ed applicate correttamente da parte dei tecnici, riducendo al minimo le possibilità di errori, cosa che dovrebbe essere il principale requisito ai fini della sicurezza.

03 Spettro di risposta in termini di accelerazione

La principale modalità di calcolo delle azioni sismiche sulla struttura prevede la costruzione di uno spettro di risposta in termini di accelerazione, desunto in base alla posizione geografica del sito e in base alle caratteristiche topografiche e geotecniche del terreno e della capacità dissipativa della struttura.

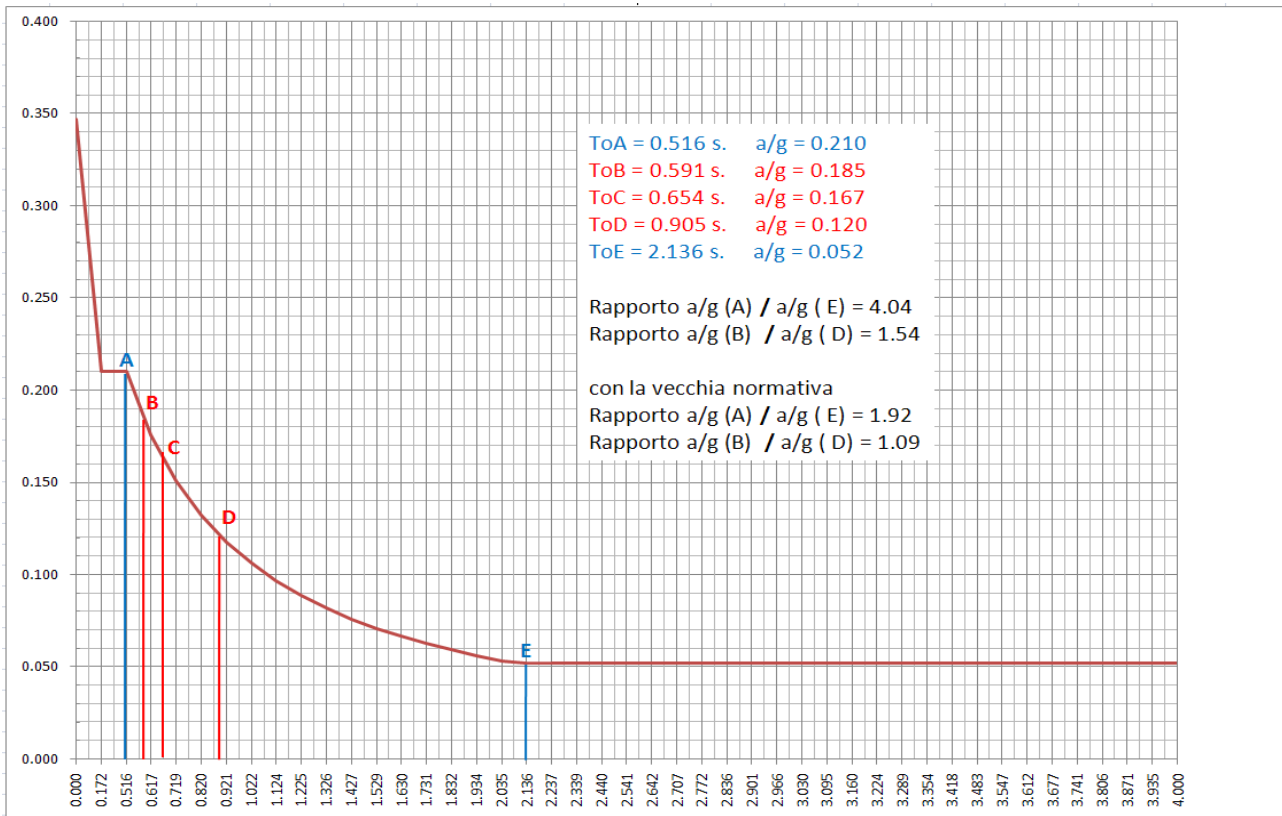
Detto grafico fornisce i valori della accelerazione sismica da applicare all'edificio al variare dei periodi di oscillazione. Una volta realizzato il modello strutturale dell'edificio, con i comuni programmi agli elementi finiti, si possono determinare i periodi di oscillazione propri della struttura.

Sulla base dei periodi si ricavano sul grafico i valori a_0/g , in base ai quali, e a opportuni coefficienti, vengono calcolate, in funzione delle masse partecipanti, le forze sismiche agenti sull'edificio.

Il grafico ha una forma tipica che comprende un tratto ripido per periodi molto brevi, un breve tratto orizzontale e un tratto in discesa con valori a_0/g sempre minori man mano che il periodo diventa più lungo (vedi grafico).

La parte più elevata del grafico corrisponde al verificarsi di fenomeni di risonanza; man mano che il periodo si modifica l'effetto della accelerazione sismica diminuisce fino a valori molto bassi rispetto al valore di picco.

Il grafico sotto riportato, sviluppato in base alla attuale Normativa, e riferito all'esempio dettagliatamente descritto nella parte quarta, permette di sviluppare una serie di interessanti considerazioni.



Se si osserva il grafico, si nota che il tratto discendente è particolarmente ripido: ciò significa che con una variazione modesta del periodo T° si ottengono valori di a_0/g molto diversi tra loro.

Esaminando il grafico allegato si può notare che nell'intervallo tra 0.591sec (punto B) e 0.905 sec (punto D), quindi un intervallo di soli 0.31 secondi, il valore di a_0/g passa da 0.185 a 0.120, con una variazione pari al 54%: è evidente che la assunzione di valori del periodo di oscillazione anche di poco inferiori a quelli reali della struttura conduce a valori di a_0/g inferiori a quelli realmente agenti e quindi al progetto di una struttura con margini di sicurezza inferiori a quelli necessari.

Va notato inoltre che la rigidità della sola struttura di un edificio risulta sempre inferiore a quella dell'edificio finito, per la influenza di tamponature e tramezzi, che, in genere, non vengono presi in conto: si può, volendo, tenere conto dei tratti di tamponature privi di finestre compresi all'interno delle maglie dei telai, ma in genere si trascura il resto.

Sul periodo di oscillazione della struttura incidono anche altri elementi:

- a) Se nel modello i pilastri vengono considerati incastrati alla base si ottiene la massima rigidità ed un periodo più breve.
- b) Se il modello comprende anche le fondazioni, poggiate su un letto di molle con rigidità derivata dal modulo di Winkler del terreno, si ottiene un rigidità minore ed un periodo un po' più lungo.

- c) Al punto 7.2.6 del D.M. 14/01/2008 si prevede la possibilità di considerare le sezioni delle travi e dei pilastri in fase fessurata: in pratica ciò corrisponde ad un momento di inerzia pari a circa la metà di quello calcolato a sezione piena; questa ipotesi, sommata a quella del caso b) fa diminuire ulteriormente la rigidezza della struttura, e fa aumentare ancora il periodo.

Le lettere B, C e D sul grafico si riferiscono a uno stesso modello per il quale sono stati considerate ipotesi di cui ai punti a) b) e c), tutte compatibili con la Normativa, e comportano una differenza di periodo pari a circa 0.31 sec.

Portando questi diversi valori di T^o sul grafico si nota che, a causa della ripidità della curva, si ottengono valori di a_o/g sensibilmente diversi tra di loro e, a volte, la differenza è dello stesso ordine di grandezza, o superiore, al valore dei coefficienti di sicurezza normalmente usati per le verifiche allo stato limite ultimo ($\cong 1.50$).

In particolare, nel caso preso in esame, la variazione di circa 0.31 sec. Comporta una variazione di a_o/g pari al 54% (vedi grafico).

Nella precedente Normativa (DM 96) la curva a_o/g prevedeva un tratto orizzontale fino a 0.8 sec, e, successivamente, la curva meno ripida faceva in modo che l'entità del sistema di forze sismiche fosse meno sensibile alle variazioni della rigidezza dell'edificio: ad esempio nel caso precedente, per una variazione di circa 0.31 sec si aveva una variazione del valore di a_o/g di circa il 9%.

I punti indicati con A e B indicano i punti estremi della variazione di a_o/g : nella Nuova Normativa il rapporto tra a_o/g max e a_o/g min è uguale a 4.04, mentre nella vecchia Normativa era uguale a 1.92: ciò conferma che, nella nuova Normativa, i valori di a_o/g , fondamentali per il calcolo del sistema di forze sismiche agenti sull'edificio, sono molto più sensibili ad una variazione anche piccola del periodo proprio della struttura.

Esaminando i risultati si nota che, per la stessa struttura, adottando criteri diversi, ma tutti consentiti dalle Norme, si ottengono variazioni del termine a_o/g anche superiori al 50%, in relazione ai quali è possibile fare le seguenti considerazioni.

Nella verifica allo SLU dei normali edifici civili si utilizzano per i carichi dei coefficienti maggiorativi, pari a 1.30 per il peso proprio della struttura e pari ad 1.50 per i carichi permanenti e di esercizio: ne risulta un coefficiente di sicurezza complessivo rispetto alle azioni di esercizio, di circa 1.43.

Nella verifica in fase sismica SLV si utilizzano invece coefficienti pari ad 1.00 per i pesi propri e per i carichi permanenti, e un coefficiente di riduzione pari a 0.30÷0.50 per i carichi accidentali dei normali edifici civili, a cui si aggiunge l'effetto delle forze sismiche.

Se il sistema di forze sismiche viene sottostimato a causa di una inesatta valutazione dei periodi di oscillazione dell'edificio, si potrebbe, al limite, riscontrare che l'evento sismico è meno impegnativo per la struttura rispetto alla situazione normale; e, dato che

la valutazione del sistema di forze sismiche viene effettuata in automatico, all'interno dei software di calcolo, ne deriva il pericolo che la struttura verificata dal software risulti con una sicurezza insufficiente, senza che il tecnico sia in grado di rendersi conto del problema.

Per completezza va anche considerato il caso che si utilizzino “volontariamente” i dati più bassi della rigidità per realizzare una struttura meno costosa, ma anche meno sicura, pur rispettando formalmente la Normativa.

Nella precedente Normativa l'effetto delle forze orizzontali sismiche, oltre tutto calcolate con una curva meno sensibile a variazioni del periodo T^o , si sommava a quello dei carichi verticali del normale esercizio: ne derivava la certezza che un edificio progettato per la zona sismica possedeva comunque, oltre alla capacità di portare i carichi verticali, un marginale di resistenza aggiuntivo da utilizzare nei confronti delle forze sismiche orizzontali previste dalla Normativa in vigore.

04 Sviluppo esempio numerico

Per quantificare quanto sopra riportato è stato sviluppato un esempio numerico considerando un edificio a pianta regolare formata da tre file di quattro pilastri inseriti ai vertici di sei campi da 6x6 metri comprendente quattro piani di altezza pari a mt 3.00.

I pilastri sono di dimensioni pari a 40x60 per i primi due livelli, e di 40x40 per gli ultimi due; le travi sono tutte di dimensioni 30x60. Calcestruzzo C25/30 con modulo elastico pari a 31.000 Mpa.

Per il calcolo delle masse sono stati utilizzati dei valori tipici degli edifici per civile abitazione (per i solai $G_1 = 3.50 \text{ kN/m}^2$, $G_2 = 3.50 \text{ kN/m}^2$, $Q_{1k} = 2.00 \text{ kN/m}^2$; tamponature $G_2 = 8.00 \text{ kN/m}$).

Le caratteristiche del terreno sono state assunte di tipo C e le caratteristiche di sismicità sono state assunte uguali a quelle calcolate dal software del Ministero dei LL.PP. per il sito di L'Aquila.

Un primo modello (mod. 1) è stato elaborato considerando i pilastri perfettamente incastrati alla base, calcolandone i periodi di vibrazione nelle due direzioni principali X e Y, e ricavando dallo spettro di accelerazione i valori corrispondenti di a_o/g .

Un secondo modello (mod. 2) identico è stato elaborato considerando la presenza di fondazioni a travi rovesce di dimensioni pari a 45x90 cm su molle (Coeff. Di Winkler = 50000 kN/m); i periodi di vibrazione sono risultati leggermente più lunghi rispetto a quelli precedenti e i valori di a_o/g leggermente inferiori.

Un terzo modello (mod.3) identico è stato elaborato considerando la presenza di fondazioni a travi rovesce di dimensioni pari a 45x90 cm su molle (Coeff. Di Winkler = 50000 kN/m) e utilizzando i momenti di inerzia in fase fessurata, valutati al 50% di quelli a

sezione piena; in questo caso i periodi di vibrazione riscontrati sono stati sensibilmente più lunghi e i valori di a_0/g proporzionalmente più bassi.

Nella tabella seguente si riportano per i tre modelli i valori dei periodi di oscillazione secondo X e Y, i valori di a_0/g secondo X e Y e la variazione percentuale prendendo come base i valori del terzo modello.

MODELLO	T° sec X	a_0/g sec X	Variaz. %	T° sec Y	a_0/g sec Y	Variaz. %
MODELLO 1	0.591	0.185	+54%	0.619	0.175	+56%
MODELLO 2	0.654	0.167	+39%	0.703	0.155	+38%
MODELLO 3	0.905	0.120	-----	0.967	0.112	----

Come evidenziato nel precedente paragrafo si sono riscontrate variazioni anche superiori al 50%; in particolare la differenza è dell'ordine del 15÷18% passando dai pilastri perfettamente incastrati al piede all'incastro in un sistema di travi rovesce su letto di molle, ma diventa del 54÷56% valutando i momenti di inerzia in fase fessurata!

Roma 13/07/2012

Arch. Luciano Sapora

Arch. Paolo Antonini