

Zone, griglie, o... stanze?

Dalle “zone sismiche” al “room effect”: verso una nuova modalità nella determinazione del rischio sismico

Paolo Rugarli¹

SOMMARIO – Vengono passate in rassegna le disposizioni contenute nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M 14-1-2008, relative alla determinazione delle azioni sismiche, mettendo in luce rilevanti problemi applicativi e di coerenza interna delle disposizioni di legge. Vengono inoltre fatti paragoni con le norme americane ASCE 7-05 e discusso il livello di precisione ottenibile nella determinazione dei parametri sismici, date le rilevanti incertezze tipiche del problema.

SUMMARY – Seismic zoning considered in the new Italian seismic code (D.M. 14-1-2008), and the pertinent definition of elastic response spectra to be used in design are critically revised and discussed, pointing out serious problems that may arise in the application of the relevant code rules and parameters. A comparison with ASCE-7 2005 United States standard is also performed. Finally, the target precision of elastic spectra resulting from such parameters is discussed, showing that a four digits computation may be misleading.

Parole chiave: norme tecniche, parametri sismici, reticolo di riferimento, probabilità, periodo di ritorno, rischio sismico.

Keywords: seismic parameters, seismic grid, hazard evaluation, probability, response spectrum parameters.

Occorre, intanto, menzionare, per chi non lo sapesse, che nella concezione qui seguita e sostenuta esistono soltanto probabilità soggettive: grado di fiducia – in inglese degree of belief – di un dato soggetto, in un dato istante e con un dato insieme di informazioni, riguardo al verificarsi di un evento. Ciò si contrappone ad altre concezioni che si limitano a speciali tipi di casi in cui esse attribuiscono un senso a delle “probabilità oggettive” (pag. 6).

Fu solo dopo aver analizzato e rimescolato in tutti i modi le concezioni oggettivistiche per tentare di ricavarne qualcosa, giungendo invece alla sicura constatazione che erano tutte irrimediabilmente illusorie, [...] fu solo dopo tutto questo duro e profondo travaglio che mi sono convinto, e tutto mi è apparso chiaro.

In senso più generale, sembra che molte delle concezioni correnti considerino come un successo l'introduzione di metodi matematici tanto potenti o di accorgimenti di impostazione tanto astuti da consentire di dare una risposta univoca a un problema anche quando per l'insufficienza dei dati esso è indeterminato (pag. 14).

E' incredibile quante cose vengano abitualmente propinate in modo pesante e oscuro, arrivando al risultato attraverso un labirinto di calcoli che fa perdere di vista il significato, mentre semplici considerazioni sintetiche basterebbero a mostrare che risultato e significato sono a portata di mano e stanno davanti agli occhi per chi non voglia comportarsi come se fosse ammanettato e bendato (pag. 21)

Bruno De Finetti – Teoria delle Probabilità – Einaudi, 1970

¹ Ingegnere strutturista, Castalia srl - Milano (staff@castaliaweb.com)

Se vogliamo evitare l'errore positivisticò, consistente nell'eliminare per mezzo del nostro criterio di demarcazione i sistemi di teorie delle scienze della natura, dobbiamo scegliere un criterio che ci consenta di ammettere, nel dominio della scienza empirica, anche asserzioni che non possono essere verificate. Ma io ammetterò certamente come empirico, o scientifico, soltanto un sistema che possa essere controllato dall'esperienza. Queste considerazioni suggeriscono che, come criterio di demarcazione, non si deve prendere la verificabilità, ma la falsificabilità di un sistema. In altre parole: da un sistema scientifico non esigerò che sia capace di esser scelto, in senso positivo, una volta per tutte, ma esigerò che la sua forma logica sia tale che possa essere messo in evidenza, per mezzo di controlli empirici, in senso negativo: un sistema empirico deve poter essere confutato dall'esperienza.

K. Popper, Logica della scoperta scientifica, Torino, Einaudi, 1970

Introduzione

Il Decreto Ministeriale del 14-1-2008 ha finalmente approvato il testo delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni: le aspettavamo.

In questo lavoro si vuole esaminare la parte relativa alla determinazione delle azioni sismiche, che costituisce una delle principali novità del nuovo testo normativo (allegati A e B).

La determinazione delle azioni sismiche non avviene più, come in passato, per mezzo dell'obsoleto concetto di "Zone Sismiche", poiché si sa che all'interno di un medesimo comune possono esserci effetti sismici diversi, in dipendenza di vari complessi fenomeni geo-sismo-tettonici, ed a prescindere dagli effetti dovuti al tipo di sottosuolo, già tenuti in conto dal *soil factor* S (un numero che può amplificare le azioni sismiche a causa degli effetti stratigrafici e topografici). Inoltre, anche la conoscenza di eventi sismici remoti consente di meglio stimare le accelerazioni di picco al suolo (a_g) i fattori amplificativi degli spettri (F_o) ed i periodi T_c^* relativi a ciascun possibile sito, ovvero i tre parametri da cui discende lo spettro di risposta usato nella determinazione delle azioni sismiche.

La forma e intensità dello spettro di risposta di progetto infatti, sono funzione di questi tre parametri, che cambiano da sito a sito. Le forze sismiche sulla struttura dipendono a loro volta dallo spettro di risposta. Quindi, con facile sillogismo, le forze sismiche cambiano a seconda di come vengono determinati i tre parametri a_g , F_o e T_c^* per il sito in esame. Tutto ciò è stato finalmente descritto in modo chiaro e sicuro nelle Nuove Norme Sismiche in funzione di precise analisi quantitativo-probabilistiche, interpolatorio-

deterministiche, che conducono, come vedremo, a stime della pericolosità sismica di sicura attendibilità.

Dopo un periodo di sommovimenti e di brusche transizioni (ricorderemo l'Ordinanza 3274 e il Testo Unico del 2005), siamo finalmente arrivati ad un risultato durevole per la sismica, in presumibile perfetta adesione ai principi degli Eurocodici, che anzi sono stati superati per qualità in diversi punti (per esempio in Eurocodice 8 ci sono solo due F_0 , mentre noi ne abbiamo ben 10751).

Come si vedrà noi siamo infatti in grado di distinguere come varia il terremoto da numero civico a numero civico e quale esatta probabilità corrisponde alla perdita di vite umane, e altro ancora che verrà dettagliatamente descritto.

Stati limite, probabilità, vita di riferimento, periodo di ritorno

La Nuova Norma Sismica (**NNS**), messa a punto dal *team* delle nuove norme sismiche (**TNNS**), introduce diversi stati limite, ai quali associa una certa *probabilità di superamento*. Abbiamo la seguente lista di possibili stati limite, con le relative probabilità:

Stato limite	Probabilità
Stato limite di operatività (SLO)	0,81
Stato limite di danno (SLD)	0,63
Stato limite salvaguardia vite umane (SLV)	0,10
Stato limite di collasso (SLC)	0,05

E' chiaro che qui dietro c'è un gran lavoro: infatti la determinazione delle esatte probabilità da associare a ciascuno stato limite ha richiesto studi specifici ed indagini statistiche di enorme mole. Quelle probabilità vogliono dire questo: se assoggettiamo il componente strutturale o non strutturale di interesse ad un sisma, che ha una data probabilità di verificarsi nel corso della vita di riferimento della struttura, e le verifiche sono soddisfatte, allora la verifica allo stato limite associato a quella probabilità che avvenga il sisma si considera soddisfatta (ad esempio, per lo SLV non muoiono le persone; per lo SLO, tutto rimane operativo; per lo SLC l'edificio non collassa). Per esempio, quali sono le azioni sismiche che la costruzione (incluse le parti non strutturali) deve sopportare per evitare che muoia qualcuno? Quelle che hanno una probabilità di verificarsi del 10% nel corso della vita di riferimento della struttura. Chiaro e univoco.

In effetti le **NNS** lasciano anche la possibilità di determinare probabilità diverse, ove si voglia ridurre ulteriormente il rischio. Sulla base di principi simili si sarebbero potuti anche determinare i seguenti stati limite, con le associate probabilità di superamento, ma, al fine di semplificare le **NNS** e renderle facilmente applicabili, questi ulteriori stati limite aggiuntivi o similari non figurano nel testo della norma.

Stato limite	Probabilità
Stato limite di terrore incontrollato (SLT)	0,91
Stato limite sospensione lezioni e interruzione pubblici servizi (SLS)	0,72
Stato limite salvaguardia vita animali domestici felini (SLA-F)	0,35
Stato limite salvaguardia vita animali domestici canini (SLA-C)	0,30
Stato limite fratture (SLF)	0,27
Stato limite polverizzazione costruzione (SLP)	0,02
Stato limite inghiottimento costruzione per apertura di faglie (SLI)	0,001

Un secondo ingrediente fondamentale per determinare le azioni sismiche è la *vita nominale*, e da questa la *vita di riferimento* mediante il *coefficiente d'uso*. La vita nominale è la durata (nominale) della costruzione in anni. E' chiaro che le costruzioni più importanti devono durare di più, e quindi si usa 50 anni o più per le costruzioni normali e 100 anni o più per quelle strategiche.

Guardando retrospettivamente si osserva che in Italia le costruzioni in pratica non si abbattono mai, per cui la vita nominale è una cosa, appunto, nominale. Ad esempio chi scrive si trova a casa, in un edificio in muratura normalissimo, di 100 anni, a Milano, vicino a Città Studi, e spera non venga abbattuto nei prossimi decenni.

Ciò tuttavia non significa nulla: la vita nominale è solo un modo con il quale si dosa la severità della azione sismica. Una volta si chiamava fattore di importanza, o qualcosa del genere, ma ciò non aveva senso in quanto troppo poco legato a considerazioni probabilistiche.

Dalla vita nominale si passa alla vita di riferimento mediante il coefficiente d'uso C_u che moltiplica la vita nominale: se una costruzione è più usata ha una *vita di riferimento* più lunga. Infatti, sebbene sia noto che la durata di una costruzione non dipende affatto da quante persone la frequentano (si prendano ad esempio i tendoni del circo e li si paragoni alla Casa del Leopardi a Recanati), è chiarissimo che questo serve solo a intensificare la

azione sismica in funzione del numero di vite potenzialmente a rischio o della strategicità della costruzione.

La “vita di riferimento” è quindi in realtà una misura della importanza dell’opera o del numero di vite umane potenzialmente a rischio. Insomma: un “fattore di importanza” misurato in anni. E’ un contributo alla chiarezza delle **NNS**, necessario per la impostazione probabilistica, l’unica veramente fondata e attendibile.

Come detto, dalla vita nominale si passa alla vita di riferimento moltiplicando la prima per il coefficiente d’uso C_u , che dipende da questa tabellina:

Classe d’uso	C_u
I-Presenza occasionale di persone	0,7
II-Normali affollamenti, edifici normali	1
III-Affollamenti significativi	1,5
IV-Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti	2

Anche questi numeri, è evidente, sono stati attentamente tarati in modo da ottenere risultati precisi ed affidabili, poiché è dimostrabile che una costruzione strategica è “usata” due volte più di una normale, mentre il numero 1,5 deve essere considerato una ragionevole media semplice tra 1 e 2.

Avuta la vita di riferimento V_R si determina il periodo di ritorno dell’evento sismico mediante la nota regola logaritmica seguente, essendo P la probabilità di cui si è detto in precedenza:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P)}$$

Il periodo di ritorno è, anch’esso, un indice di severità, funzione della vita di riferimento e della probabilità di superamento. Tanto maggiore è il periodo di ritorno tanto più severo sarà il sisma.

Le nostre indagini quantitative risalgono a poche decine di anni, ma grazie ai registri parrocchiali, le cronache medioevali e Plinio il Giovane, nonché grazie ad analisi sulle evidenze geo-tettoniche, sismo-genetiche e affini (sulla scia del grande Alfred Wegener), siamo in grado di valutare, in ogni sito, quale severità avrà il terremoto in funzione del lasso di tempo che intercorre tra un evento e l’altro del medesimo tipo.

Non deve stupire, quindi, che il *periodo di ritorno* T_R possa essere 475, 900 o 1500 anni. Peraltro, in verità prudenzialmente, la norma ci informa che quando il periodo di ritorno supera 2475 anni, dobbiamo porre 2475, mentre quando il periodo di ritorno è inferiore a 30 anni dobbiamo comunque porre 30 anni. In effetti, “visto l'*intervallo di riferimento attualmente disponibile*”, come è detto nelle **NNS**, si ritiene che il lasso di tempo di 2475 anni sia il limite superiore al di là del quale, sulla base delle informazioni in nostro possesso, sarebbe arduo estrapolare. Per ora, poiché non si devono mettere limiti alle possibilità della scienza.

Reticolo sismico di riferimento

Stabilito quale sia il periodo di ritorno dell'evento sismico relativo allo stato limite di interesse, per la costruzione allo studio, occorre verificare quale livello di intensità sismica corrisponda a quel periodo di ritorno nel luogo geografico su cui sorgerà la costruzione.

Una volta si disponeva di mappe molto rozze, che dividevano il territorio nazionale in poche “zone” (tre o quattro) e poi, in funzione del comune ove il sito doveva sorgere, si determinava una severità del sisma. Ora tutto questo è superato. Noi siamo in grado di conoscere cosa succede in ben 10751 punti disseminati in modo omogeneo (ed è qui il bello, lo straordinario) sul territorio nazionale. La maglia tipica è grosso modo quadrata con lato di 5,5Km circa.

Quindi ora noi siamo in grado di determinare dato un certo punto geografico, quale terremoto ha una certa probabilità di verificarsi, e per farlo usiamo il reticolo di punti anzidetto. Non più zone sismiche: ora abbiamo la *maglia elementare di riferimento*. Infatti, come dice l'allegato A delle **NNS**

“per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento i valori dei parametri di interesse per la definizione della azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame”.

Come vedremo il “possono” è in realtà un “devono” poiché altrimenti la azione sismica può variare di vari punti percentuali.

Ecco è qui la innovazione che abbiamo davanti. Abbiamo un punto geografico e dobbiamo trovare la maglia elementare che lo contiene, e da lì determinare con una

interpolazione ciò che succede nel nostro punto. Siccome di maglie ne abbiamo parecchie migliaia (più di novemila), si capisce la estrema precisione del metodo: possiamo veramente determinare quel che succederà alla nostra costruzione, il tutto grazie al meraviglioso lavoro di integrazione probabilistica delle notizie storiche con quelle geosismo-tettoniche compiuto dal **TNNS**.

La disponibilità di una simile precisione ci porta a considerare due nuovi effetti, nella valutazione della azione sismica: lo *street effect* ed il *room effect*.

Street effect

Potrete credere che determinata la latitudine e la longitudine del comune su cui si deve erigere, o ristrutturare, o verificare una costruzione, voi possiate determinare la maglia di riferimento e da lì eseguire la interpolazione.

Non è così.

Potrete credere che le accelerazioni di picco a_g , i fattori di amplificazione F_0 ed i periodi T_c^* siano poco variabili tra i punti della medesima maglia, perché magari potrete credere che il terremoto atteso (fattore di suolo S a parte) sia grosso modo lo stesso in un raggio di 5,5Km.

Non è così.

La metodologia ora resasi disponibile ha portato ad avere maglie ove la accelerazione di picco differisce, all'interno dei quattro punti della stessa maglia, per più del 40%.

Questo vuol dire che anche le centinaia di metri diventano rilevanti nella determinazione dei parametri sismici. Ciò porta alla conclusione che la ricerca delle coordinate geografiche deve essere fatta con assoluta precisione, e che la mera determinazione di un comune o di una frazione è ben lungi dall'essere sufficiente.

I parametri di riferimento sismico dipendono, all'interno della medesimo quartiere, dalla via ove vi trovate, e la precisione richiesta nel valutarli deve essere di poche centinaia di metri. E' proprio per questo che abbiamo sbaragliato ogni altro possibile esempio di norma sismica.

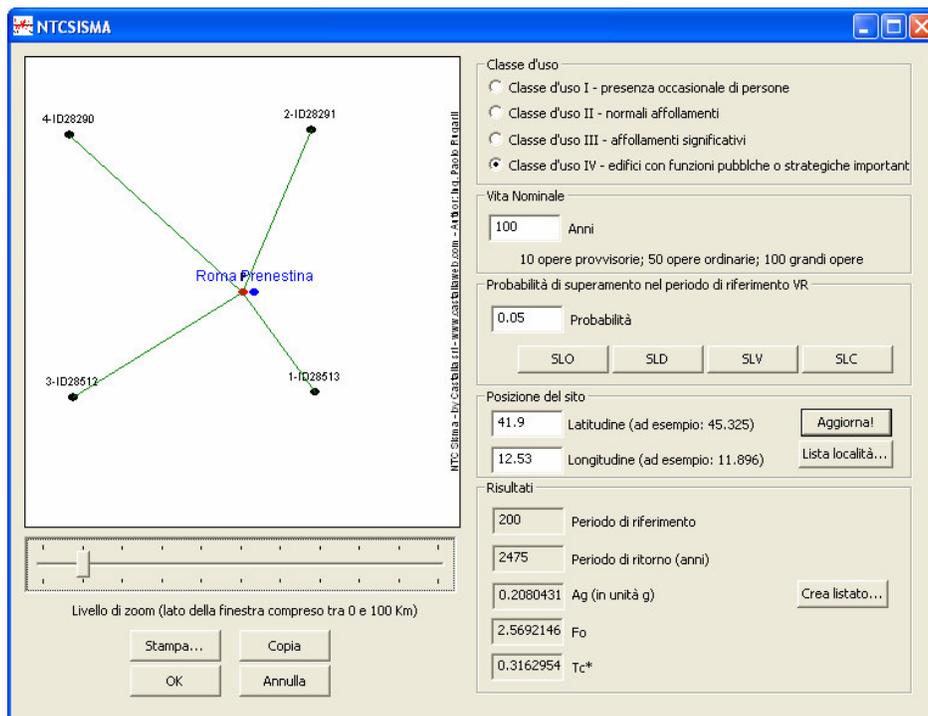
Chi scrive, come anche altri, ha messo a punto un piccolo software in grado di eseguire i calcoli necessari, denominato NTCSISMA (/1/). Tale software si è rivelato prezioso per capire veramente come funziona il meccanismo messo a punto dal **TNNS**. Inoltre chi scrive ha potuto esaminare i dati con specifiche routine scritte per esaminarli.

Tutto questo è precluso a chi usi software che non consentano di specificare esattamente la latitudine e la longitudine, ed a chi non dispone della possibilità di programmare. In questo lavoro si mette a disposizione di un più vasto pubblico le cose che si sono scoperte esaminando i dati da un punto di vista ingegneristico e non probabilistico-geo-sismo-tettonico.

Vediamo un esempio di applicazione di questo nuovo metodo.

Si debba costruire a Roma, un nuovo padiglione del Policlinico, edificio evidentemente strategico e con necessità di vita molto lunga (100 anni di vita nominale, classe d'uso IV). Si consideri dapprima la coppia di coordinate di Roma Prenestina, così come fornite ad esempio dal programma NTCSISMA:

(41.9, 12.53).



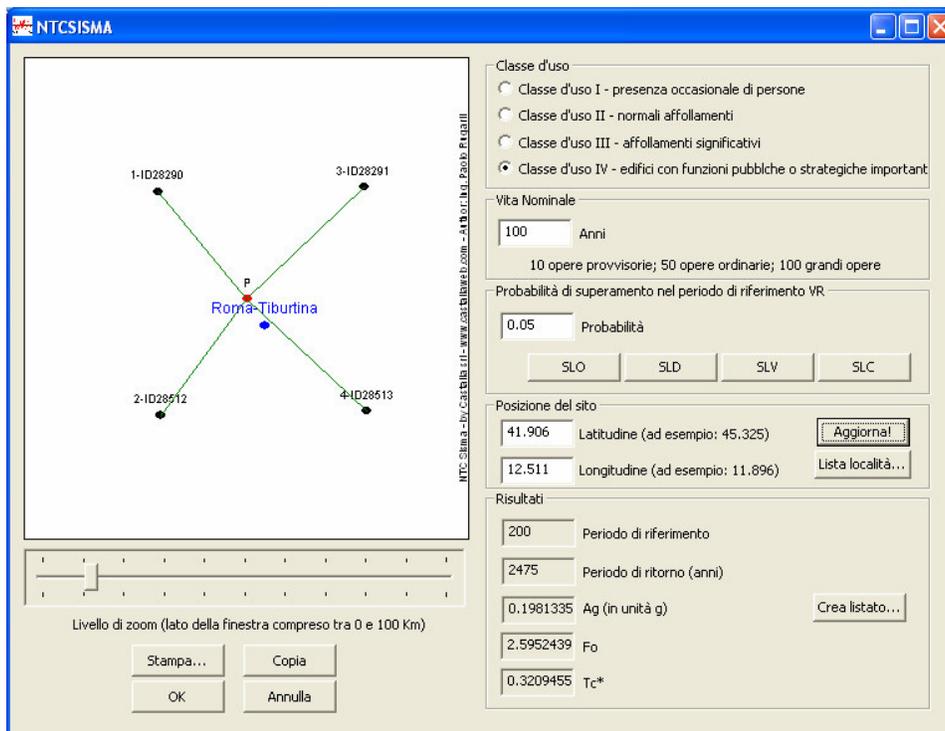
Per lo stato limite di Collasso otteniamo i risultati della figura precedente, in particolare $a_g=0,208g$.

Ma il sito in esame è troppo generico, non al livello della Mirabile Precisione richiesta dal nuovo metodo di calcolo. Infatti se usando Google raffiniamo le coordinate geografiche e determiniamo quelle esatte, otteniamo la coppia



(41.906, 12.511)

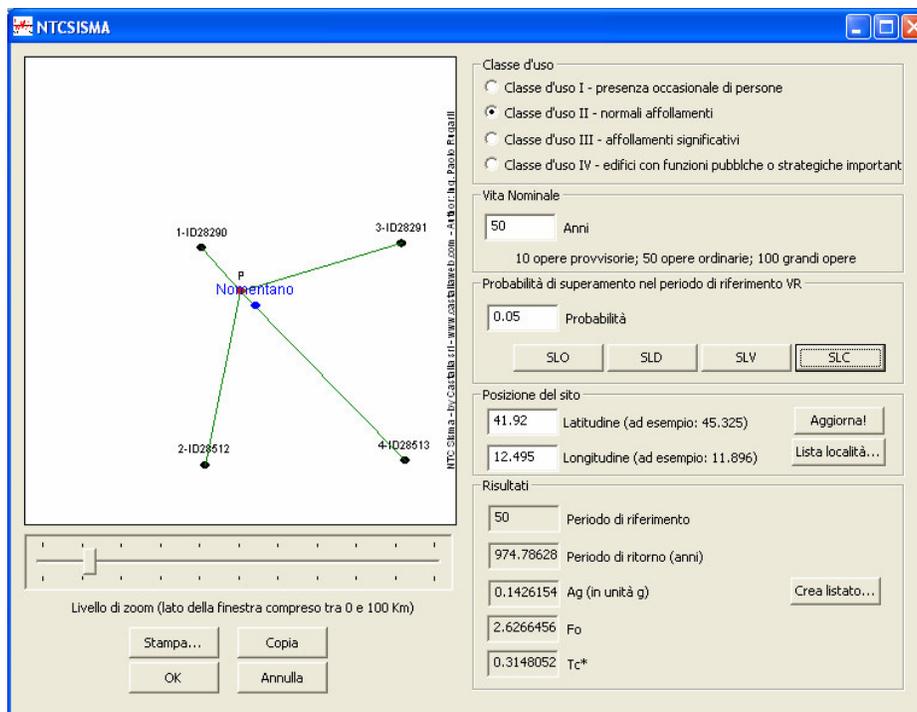
alla quale corrisponde una diversa interpolazione, tale da condurre ai risultati della figura seguente.



In un caso otteniamo 0,208g, nell'altro otteniamo 0,198g, con una differenza del 5% che ai fini della determinazione della azione sismica, dal punto di vista di chi la norma deve applicare mantenendosi coerente con essa, non pare trascurabile. Si noti che la maglia elementare di riferimento è la stessa e che la distanza tra i due punti è di 1,5Km circa. Sempre nella stessa maglia se consideriamo ad esempio Via Bellini



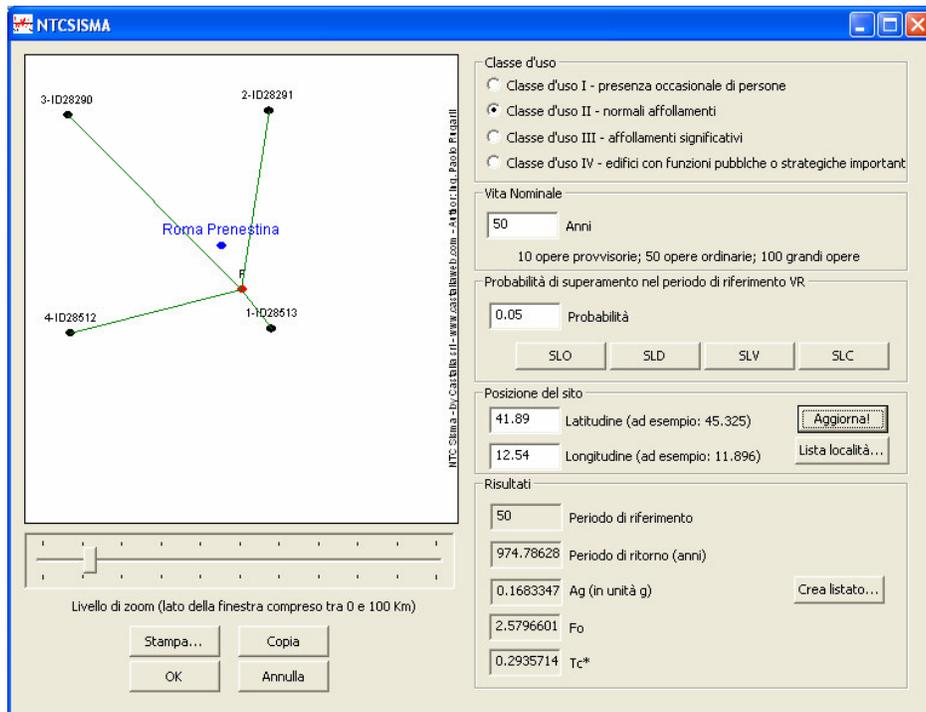
ponendo ora vita nominale 50 anni e classe d'uso 2 troviamo questi risultati



Mentre in prossimità di Via Aversa



Si ottengono i seguenti risultati:



E tra 0,168g e 0,142g v'è il 18,3% di differenza.

Mirabile precisione del metodo messo a disposizione degli ingegneri italiani dal **TNNS**: siamo riusciti a capire che il sisma atteso in due quartieri diversi di Roma può differire per il 18%. E tutto questo grazie alla geo-sismo-tettonica e alla attenta analisi quantitativa e qualitativa delle fonti storiche.

Se muovendosi di due o tre chilometri si ottengono variazioni così forti, è chiaro che per ottenere una precisione assoluta (tale da metterci al riparo da possibili contestazioni da parte di chi volesse applicare per bene il dettato normativo posto in Gazzetta Ufficiale), non potremo che adoperare risoluzioni nell'ordine di due-trecento metri o meno ancora, pervenendo a quello che si è chiamato *street effect*. E' un risultato importante, una precisione che nessun Paese al mondo può vantare, resa disponibile grazie al lavoro del **TNNS**.

Qualche detrattore della precisione di questi risultati potrebbe obiettare che non esiste alcun *street effect*, che questo esempio è un caso del tutto particolare. Al fine di fare luce su questo aspetto chi scrive ha realizzato un programma (derivato da NTCSISMA per

uso personale) nel quale ha analizzato ciascuna delle 9941 maglie elementari regolari² ponendosi le seguenti domande:

1. Qual è lo scarto tra il valore massimo e minimo di a_g e del prodotto $a_g F_0$ per ciascuna maglia?
2. Qual è il valore medio di tale scarto al variare di tutte le maglie ed al variare dei nove periodi di ritorno tabellati nell'allegato B?
3. Quale è il valore massimo di tale scarto al variare di tutte le maglie ed al variare dei nove periodi di ritorno tabellati nell'allegato B?
4. Come sono distribuiti gli scarti tra 0 ed il valore massimo, ovvero quale è la frequenza di occorrenza di ciascuno scarto?

Il risultato è nelle due successive tabelle A e B, rispettivamente per a_g e per $a_g F_0$. Nelle tabelle ogni riga corrisponde ad un diverso periodo di ritorno. La prima colonna indica appunto il periodo di ritorno del sisma. La seconda colonna indica il valor medio dello scarto in percentuale su a_g (o su $a_g F_0$), tra i quattro punti delle maglie elementari di riferimento. La terza colonna indica il massimo scarto percentuale al variare delle 9941 maglie regolari. La quarta colonna indica il numero di maglie elementari che presentano scarti compresi tra lo 0% ed il 5%. La quinta colonna indica il numero di maglie elementari regolari che presentano scarti compresi tra il 5% ed il 10%. Poi tra il 10% ed il 20% per la sesta colonna; tra il 20% ed il 30% per la settima; tra il 30% ed il 40% per la ottava; tra il 40% ed il 50% per la nona, ed infine l'ultima colonna riporta il numero di maglie elementari regolari dove si sono letti scarti superiori al 50%.

Prendiamo ad esempio la prima tabella, ed osserviamo che il massimo scarto per $T_R=2475$ anni è pari al 66,5%. Ciò avviene per la maglia identificata dai seguenti nodi della griglia (siamo intorno al comune di Spadellata):

ID30067	LON 12.555	LAT 41.531
ID30068	LON 12.622	LAT 41.532
ID30289	LON 12.556	LAT 41.481
ID30290	LON 12.623	LAT 41.482

² Vi sono casi in cui la interpolazione su maglia regolare non è possibile poiché il reticolo si arresta. L'analisi è stata compiuta sia tenendo conto delle sole maglie regolari, sia ammettendo le maglie irregolari. I risultati qui presentati si riferiscono alle sole maglie regolari. Se si includono le maglie irregolari si trovano picchi di scarto ancora superiori (ad esempio 73,4% su a_g con $T_R=2475$ anni) indice della presenza di punti vicinissimi con fortissime variazioni dei parametri sismici.

Nella tabella 1 dell'allegato B troviamo in corrispondenza di questi nodi di griglia ed al periodo di ritorno di 2475 anni i seguenti valori di accelerazione a_g (in decimi di g):

ID30067	1,744	(pag. 548 G.U.)
ID30068	2,303	(pag. 550 G.U.)
ID30289	1,383	(pag. 548 G.U.)
ID30290	1,585	(pag. 550 G.U.)

Allora calcoliamo lo scarto percentuale su questa maglia elementare:

$$100 \frac{2,303 - 1,383}{1,383} = 66.5$$

ritrovando il dato segnalato nella tabella A qui fornita.

Se ora consideriamo la riga precedente della stessa tabella, quella relativa ad un periodo di ritorno di 975 anni, troviamo uno scarto del 55.1% al quale corrisponde la seguente maglia (siamo in località Monte Migliore-La Selvotta a sud del Grande Raccordo Anulare, a Roma):

ID29176	LON 12.351	LAT 41.729
ID29177	LON 12.418	LAT 41.730
ID29398	LON 12.352	LAT 41.679
ID29399	LON 12.419	LAT 41.680

Nella tabella 1 dell'allegato B troviamo in corrispondenza di questi nodi di griglia ed al periodo di ritorno di 975 anni i seguenti valori di accelerazione a_g (in decimi di g):

ID29176	1,260	(pag. 541 G.U.)
ID29177	1,737	(pag. 544 G.U.)
ID29398	1,120	(pag. 541 G.U.)
ID29399	1,436	(pag. 544 G.U.)

Allora calcoliamo lo scarto percentuale su questa maglia elementare:

$$100 \frac{1,737 - 1,120}{1,120} = 55.08$$

ritrovando il dato segnalato nella tabella A qui fornita.

T _R (anni)	Medio (%)	Max (%)	0-5% (numero)	5%-10% (numero)	10%-20% (numero)	20%-30% (numero)	30%-40% (numero)	40%-50% (numero)	50% o più (numero)
30	7,6	39,6	2867	4499	2468	95	12	-	-
50	8,4	40,1	2663	4040	3019	206	12	1	-
72	8,9	40,2	2587	3686	3281	371	15	1	-
101	9,5	40,2	2674	3270	3353	619	24	1	-
140	9,9	41,2	2765	2968	3288	859	59	2	-
201	10,4	43,8	2755	2761	3184	1119	114	8	-
475	11,4	49,4	2919	2266	2964	1454	293	45	-
975	12,2	55,1	2924	2090	2796	1587	437	82	25
2475	13,3	66,5	2987	1809	2632	1625	638	184	66

Tabella A

Scarti percentuali nei 4 valori di a_g nella medesima maglia ($100x[a_{gmax}-a_{gmin}]/a_{gmin}$).

Media e massimo al variare di tutte le 9941 maglie. Distribuzione degli scarti.

T _R (anni)	Medio (%)	Max (%)	0-5% (numero)	5%-10% (numero)	10%-20% (numero)	20%-30% (numero)	30%-40% (numero)	40%-50% (numero)	50% o più (numero)
30	7,2	38,0	3005	4837	2047	39	13	-	-
50	7,8	39,0	2839	4258	2779	55	10	-	-
72	8,2	39,1	2816	3928	3031	157	9	-	-
101	8,6	39,1	2798	3638	3215	281	9	-	-
140	9,8	39,6	2854	3286	3352	430	15	-	-
201	9,4	39,0	2853	3014	3421	631	22	-	-
475	10,4	44,9	2888	2585	3320	1040	100	8	-
975	11,0	49,3	2878	2428	3086	1311	210	28	-
2475	11,7	52,4	2974	2142	2928	1468	365	60	4

Tabella B

Scarti percentuali nei 4 valori di $A=a_gF_0$ nella medesima maglia ($100x[A_{max}-A_{min}]/A_{min}$). Media e massimo al variare delle 9941 maglie. Distribuzione degli scarti.

Come si vede dalle tabelle la distribuzione degli scarti è tale che lo scarto medio per gli stati limite più severi supera il 10%. Il valor medio vuol dire però poco: in realtà moltissime maglie hanno scarti superiori al 20% (ad esempio su $a_gx F_0$ per $T_R=975$ anni superano il 20% di scarto 1549 maglie elementari regolari su 9941, circa il 15%, mentre superano per certo il 10% 4635 maglie, pari a quasi il 50% del totale delle maglie disponibili). *In media* ci si può attendere una variazione del 10% nel raggio di 5Km. Ragionando in modo lineare, per semplicità, ed ammettendo che un ragionevole errore sull'input sismico (tale da evitare contestazioni) sia dell'1%, possiamo dire che la distanza

minima di risoluzione deve essere intorno ai 500 metri. Sempre nell'esempio precedente ($T_R=975$ anni, $a_g \times F_o$) per il 50% della maglie occorrerà dimezzare la distanza portandola a 250metri. Lo *street effect* è dunque un reale risultato raggiunto dal **TNNS**.

Fin qui abbiamo dimostrato che il livello di precisione richiesto dalla norma sia in media delle centinaia di metri. In realtà non è così. Esiste anche un secondo effetto, particolarmente sottile, che possiamo chiamare *room effect*.

Room effect

L'aver affettato il territorio italiano con fitte linee ideali che distano pochi chilometri tra loro ha anche avuto l'effetto di creare migliaia e migliaia di invisibili linee di confine tra maglia e maglia che rappresentano altrettante linee di discontinuità nella valutazione dei parametri sismici.

Il tipo di interpolazione richiesto dalla norma prevede infatti espressamente che si usi *la maglia elementare entro la quale va a cadere il punto geografico relativo al sito allo studio*, ed usa una formula che impiega le distanze del sito dai quattro vertici della maglia elementare di riferimento anziché, ad esempio, una funzione bilineare come negli elementi finiti isoparametrici QUAD (tale diversa scelta avrebbe però fatto scomparire il *room effect*). Detta p la grandezza nel punto in esame (a_g , F_o o T_c^*), d_i le distanze del punto in esame dai quattro vertici della maglia elementare, e p_i i valori della grandezza in esame nei quattro vertici, deve risultare, *come da Gazzetta Ufficiale*:

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

I quattro vertici di riferimento dipendono dal punto ove va a cadere la costruzione, ma sono innumerevoli i casi in cui la costruzione si trova sulla linea di separazione tra due maglie.

Pertanto è chiaro che edifici che siano tagliati dalle linee che separano una maglia di riferimento da un'altra possono avere valori diversi nei parametri di riferimento a seconda che ci si trovi in sala o in bagno. Al limite, veramente, basta cambiare piastrella e i parametri sismici, con docile precisione coerente con le regole di Gazzetta Ufficiale, variano.

Questo effetto dovuto al tipo di interpolazione proposta deve essere approfondito poiché è foriero di nuovi importanti sviluppi.

Un esempio chiarirà meglio di ogni discorso.



Consideriamo il sito raffigurato, in Via Tuscolana, a Roma, corrispondente alle coordinate geografiche seguenti:

(41.88055, 12.52)

A questo sito corrispondono i parametri sismici della figura successiva, immaginando una classe d'uso III e una vita nominale di 50 anni (SLC).

In particolare,

$$a_g=0,201g$$

$$F_o= 2.54209$$

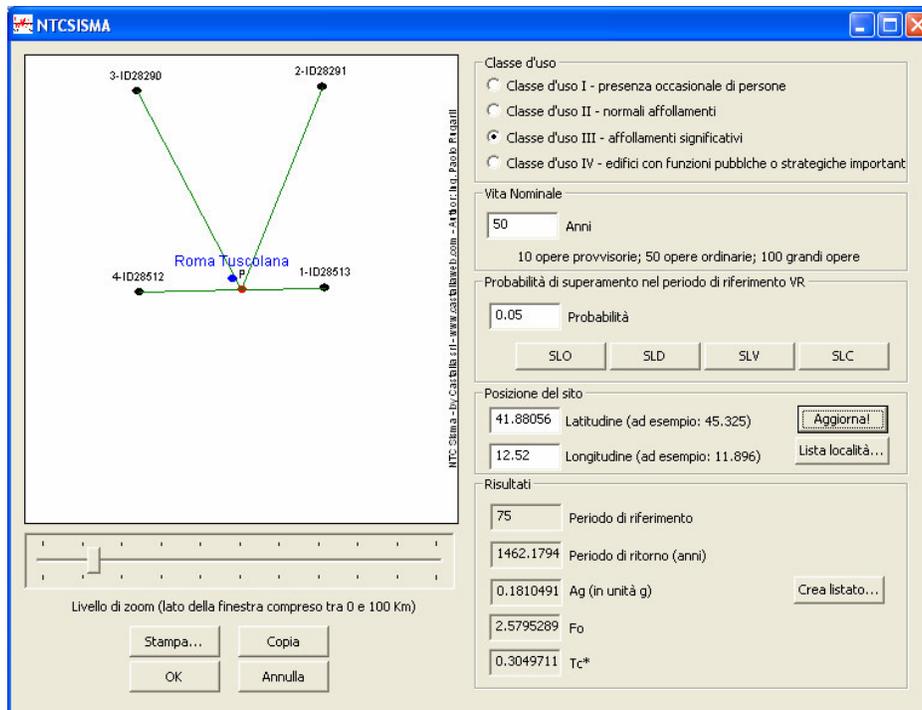
Se inseriamo queste altre coordinate geografiche

(41.8806, 12.52)

corrispondenti ad una variazione di spazio di pochi centimetri,



troviamo questi parametri sismici



ovvero in particolare,

$$a_g=0,1810g$$

$$F_0 = 2.57209$$

Questo significa che la a_g è cambiata del 11% nel passare da una stanza all'altra del medesimo edificio.

Questo è il *room effect*: pensate, dalla sala alla cucina o dalla camera da letto al bagno, sulla piastrella di confine i nostri parametri sismici possono variare del 11%.

Il problema può essere utilmente inquadrato alla luce di quanto avviene correntemente nei modelli agli elementi finiti, allorché si debba stimare lo stato di sforzo in un continuo piano modellato con elementi a quattro nodi. La procedura di interpolazione all'interno di un elemento finito (*local smoothing /2/*) è corrispondente alla procedura di interpolazione all'interno della maglia elementare di riferimento (anche se le due interpolazioni avvengono con metodi differenti e sono anche basate su dati di partenza di ben diversa attendibilità).



Linea di discontinuità tra le due maglie in un quartiere di Roma (esempio precedente: Tuscolano-Re di Roma). E' visibile il taglio dei caseggiati associato alla linea di separazione tra le maglie e la relativa linea di "interelement jump"

La procedura di regolarizzazione tra elementi finiti contigui, atta a eliminare gli *interelement jumps*, è assimilabile a quanto nella norma manca. Il *room effect* non è altro che un *interelement jump*. Si tratta in altre parole di ciò che si spiegava nel corso di Analisi matematica 1: una discontinuità di prima specie ($F \notin C^0$).

A chi volesse obiettare che questo problema rende le **NNS** inapplicabili, stante il fatto che non è detto nel testo della Norma come fare in questi casi, si può replicare

facilmente che esiste un modo assolutamente coerente con le **NNS** di risolvere il problema.

Non certo eseguire le discutibili medie pesate che usa il metodo degli elementi finiti, o peggio prendere il valore peggiore tra quelli delle due maglie limitrofe. Ciò infatti ci riporterebbe alle vecchie ed imprecise zone sismiche (*che sono basate sull'assurdo principio che sia utile prendere il valore peggiore in una certa regione, date le possibili incertezze*), cioè al vecchio.

Le incertezze ora sono scomparse: esse sono state ricollocate altrove, ed ora si presentano sotto forma di maglia elementare del reticolo di riferimento, sotto forma di algoritmi deterministici che addirittura ci consentono interpolazioni, grazie al lavoro del **TNNS**.

Nello spirito probabilistico che anima la norma (una probabilità *oggettiva*, questa della Norma e non una probabilità *soggettiva* come quella descritta come unica possibile da Bruno De Finetti), si potrà decidere quale maglia di riferimento adottare tra le due o quattro possibili mediante un ripetuto tiro di dadi.

Implicazioni economiche

La determinazione del rischio sismico con questo grado di precisione apre nuovi ed inaspettati scenari nella Vita Economica del Paese. Se per le nuove costruzioni si possono determinare le azioni sismiche con questo grado di precisione, che dire delle costruzioni esistenti, e soprattutto di quelle strategiche?

Mentre prima gli edifici di un medesimo comune erano ritenuti esposti alla medesima sismicità di base, ora noi possiamo mappare casa per casa l'effettiva sismicità di base, e ciò porta a delle ovvie conseguenze. Nella vendita di un immobile, ad esempio, sarà necessario fornire il conteggio sulla maglia di riferimento al fine di quantificare l'effettiva sismicità di base, ed il prezzo dell'immobile non potrà che tenerne conto: Viale Regina Margherita? Meglio di no: più opportuna Via Marsala.

Interi quartieri, che magari oggi godono di notevole apprezzamento, potranno deprezzarsi in funzione di quanto ora viene portato alla luce. "Questo edificio, con periodi di ritorno del sisma di 975 anni ha una a_g troppo alta, mi dispiace, deve togliere 30000 euro dal prezzo". E poi anche i mutui, le assicurazioni, gli affitti: che meraviglioso nuovo insieme di scenari.

Per quanto riguarda poi gli edifici strategici è chiaro che la valutazione della severità del sisma con criteri simili a quelli visti potrà portare a decidere con molta maggior precisione se e quando sia necessario intervenire, in funzione della effettiva sismicità del numero civico in esame, con tanto maggior guadagno per le casse dello Stato, già esauste e quindi bisognose di attenta cura nella scelta della spesa³.

Uno sguardo alle ASCE 7

Negli Stati Uniti sono in vigore delle norme tecniche che specificano le minime azioni alle quali sottoporre le strutture nei modelli di calcolo per il progetto e la verifica (ASCE-7 2005, IBC-2006). Per quanto riguarda la azione sismica, le zone sismiche sono state sostituite da mappe con curve di livello relativamente alle accelerazioni spettrali per $T=0,2\text{sec}$ e per $T=1\text{sec}$ di periodo dell'oscillatore semplice, in presenza di uno smorzamento pari al 5% e di un suolo di riferimento (quello denominato B).

Nelle figure seguenti si vedono alcune di tali mappe. Come si potrà notare le curve di isolivello sembrano presentare una scala decisamente più rozza di quella alla quale si è giunti qui in Italia per il lato di maglia (5 Km) a dimostrazione che non sempre siamo indietro, a volte precorriamo i tempi.

Si noti che mentre nelle norme americane si danno le mappe dei valori spettrali (ovvero direttamente certe ordinate spettrali), nelle norme italiane si danno le tabelle (non le mappe) coi valori di accelerazione al suolo e coi fattori di amplificazione della risposta spettrale. Di fatto entrambi i metodi servono a determinare forma e intensità degli spettri di risposta elastici.

³ “Ci sono almeno 75 mila edifici pubblici in Italia da consolidare al più presto. E non perché abbiano parti cadenti o pericolanti, ma perché si trovano in aree a pericolosità sismica rilevante e poggiano le loro fondamenta su terreni che vengono investiti periodicamente da terremoti capaci di fare crollare in un attimo scale e solai”; “si tratta di un'operazione molto impegnativa che richiederà anni di tempo e ingenti finanziamenti, stimabili in 50-60 miliardi di euro” Franco Foresta Martin, *Italia a rischio sismico Lavori in 75 mila edifici*, *Corriere della Sera*, 1-3-2008.

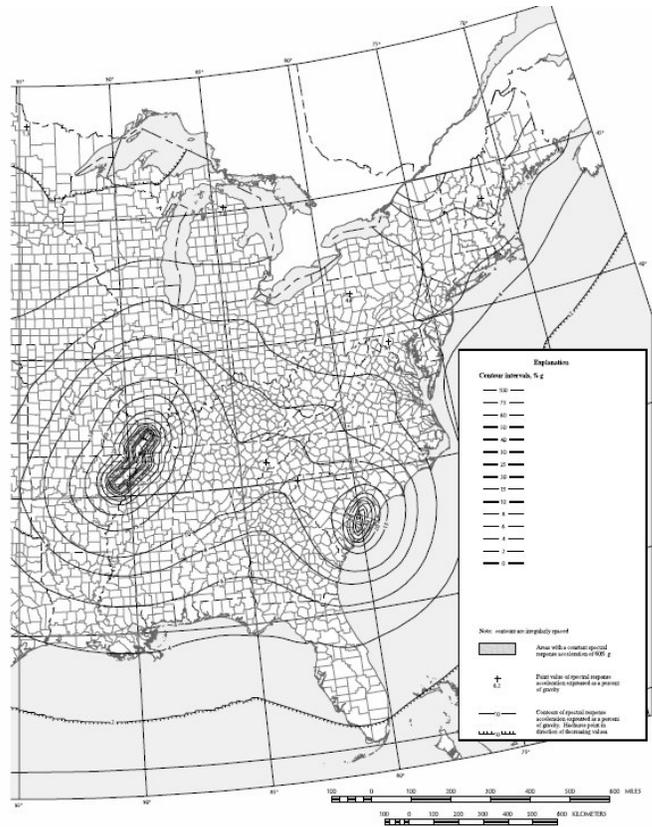
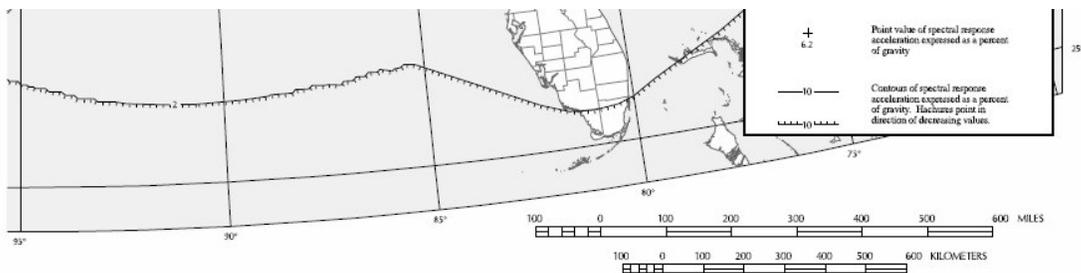


FIGURE 23-2 continued
 MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR THE CONTERMINOUS UNITED STATES OF 1.0 SEC
 SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION (5% OF CRITICAL DAMPING), SITE CLASS B

**ASCE-7 2005. Risposta spettrale per T=1sec, in %g, 5% di smorzamento, classe di suolo B
 E' riconoscibile la Florida, la zona dei grandi laghi e la costa atlantica**



ASCE-7 2005. Dettaglio con rappresentazione della scala. Per avere una idea della differenza, nei 600 Km rappresentati sulla scala entrano circa 120 punti griglia della mappa NNS.

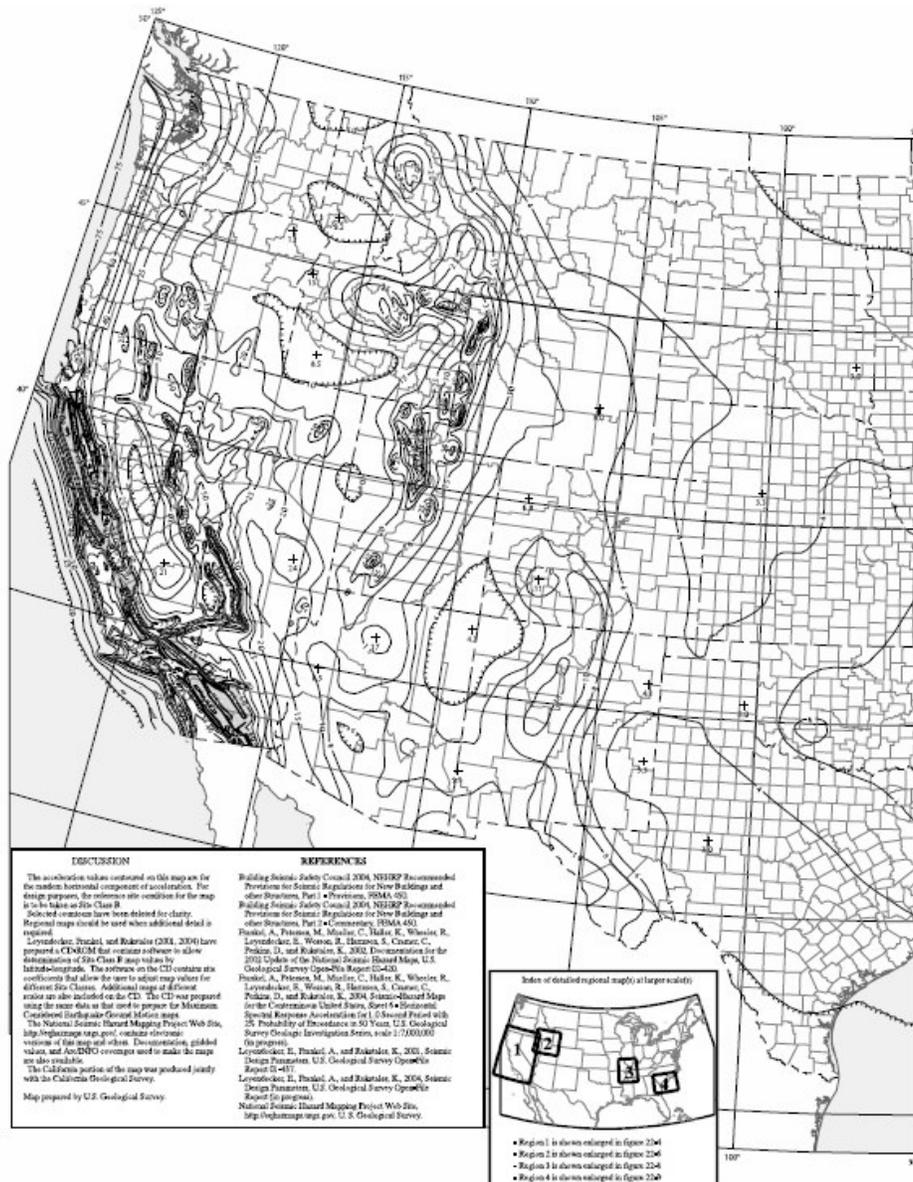


FIGURE 22-2 MAXIMUM CONSIDERED EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR THE CONTERMINOUS UNITED STATES OF 1.0 SEC SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION (5% OF CRITICAL DAMPING), SITE CLASS B

ASCE-7 2005. Stati Uniti. Zona a Ovest del 95° meridiano a ovest di Greenwich. Come si vede nelle zone a maggior sismicità (California, faglia di Sant'Andrea più varie altre faglie tutte molto ravvicinate) sono previste mappe più dettagliate, ma il grosso delle mappe presenta una approssimazione evidentemente molto rozza.

Per quanto si sia cercato, le norme ASCE non riportano alcun elenco di punti di griglia, né chiedono di eseguire alcuna interpolazione su maglia elementare: le maglie e la griglia proprio non ci sono. In effetti, guardando con attenzione le mappe riportate nella norma, si vede che è citato un sito

(<http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/>)

che opzionalmente consente di guardare i dati dai quali le mappe sono state tratte.

Tuttavia, sfortunatamente per gli ingegneri statunitensi, nessuno è ancora arrivato alla idea di *obbligare* a fare interpolazioni su un reticolo di punti posti nel testo della norma. Questa idea sembra sia, al momento, per quanto risulta, solo nelle nuove norme sismiche italiane, e lo stesso per quanto riguarda il *room effect* con singolarità di prima specie.

Peraltro, a onore del vero, l'esame dettagliato del sito statunitense dedicato al rischio sismico fa chiaramente intendere anche ad un semplice ingegnere quale chi scrive come sia possibile *“l'introduzione di metodi matematici tanto potenti o di accorgimenti di impostazione tanto astuti da consentire di dare una risposta univoca a un problema anche quando per l'insufficienza dei dati esso è indeterminato”* (De Finetti), e quindi lascia chiaramente comprendere la matrice culturale e “scientifica” dalla quale provengono i concetti che, portati al diapason, hanno condotto alle **NNS**.

Traduciamo un breve estratto di un documento che illustra in dettaglio i criteri usati per mettere a punto la mappa di pericolosità sismica USA del 2007⁴:

“Le intensità sismiche su griglia per i Modelli 1-3 sono state determinate contando i terremoti in ciascuna maglia con dimensione di 0,1° in longitudine per 0,1° in latitudine. Una funzione gaussiana bidimensionale è stata usata per regolarizzare le intensità di griglia; abbiamo usato una distanza di correlazione di 50Km per il Modello 1 e di 75 Km per il Modello 2 e 3. I parametri di regolarizzazione sono basati su giudizio circa le incertezze sulla collocazione dei terremoti e sui modelli spaziali nelle mappe dopo aver applicato diversi parametri di regolarizzazione (Frankel e altri, 1996). La “agrid” risultante dà la frequenza annuale di terremoti con magnitudo tra -0,05 e +0,05 in ogni maglia elementare ([...]).

⁴ Si veda in *Documentazione Preliminare per l'aggiornamento del 2007 delle Mappe di Rischio Sismico negli Stati Uniti*, a cura del Progetto Nazionale per la Mappatura del Rischio Sismico (http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/products_data/2007/documentation/NSHMdoc_06Jun1540.doc):

“Gridded seismicity rates for Models 1-3 are determined by counting earthquakes in each grid cell with dimensions 0.1° longitude by 0.1° latitude. A two-dimensional spatial Gaussian function is used to smooth the gridded rates; we use a correlation distance of 50 km for Model 1 and 75 km for Models 2 and 3. Smoothing parameters are based on judgments about earthquake location uncertainties and spatial patterns in the maps after applying different smoothing parameters (Frankel and others, 1996). The resulting “agrid” gives the annual rate of earthquakes with magnitude between -0.05 and +0.05 in each grid cell (incremental 10³ in the Gutenberg-Richter notation: magnitude bin centered on m= 0, width= 0.1 magnitude unit).

For 2007 seismicity rates are adjusted to account for magnitude uncertainty using a result published by Tinti and Mulargia (1985). As a rough first step to account for this effect we simply assume one-sigma uncertainty values of 0.1 magnitude unit for earthquakes in 1972-2006, 0.2 for 1932-1971, and 0.3 for 1700-1931, following guidelines suggested by K. Felzer for earthquakes in California (personal communication, 2007). These assumptions are untested for the CEUS (Central and Eastern United States). Furthermore, rate reductions can be severe near isolated old, large earthquakes that we have made a special effort to represent in the hazard model (see the above discussion about the Nemaha Ridge). For these reasons gridded seismicity models with and without magnitude-uncertainty corrections are combined with respective weights of 1/3 and 2/3 in the final hazard model. We feel it is important to model magnitude uncertainty in a preliminary way, but we are not ready to embrace it fully in the CEUS pending more analysis and research. Lacking any information on which to base corrections in the CEUS, we make no attempt to account for possible magnitude rounding effects (see WUS below).

We recognize that, in an effort to include as many earthquakes in the model as possible in the low-seismicity CEUS, we have been somewhat optimistic in the choice of completeness levels. To account for this, seismicity rates in each grid cell are multiplied by factors that account for regional differences between “true” completeness levels determined from the modern part of the catalog (since 1976) and the assumed levels (Mueller and others, 1997).”

Per il 2007 le frequenze sismiche sono modificate per tener conto delle incertezze di magnitudo usando un risultato pubblicato da Tinti e Mulargia (1985). Come rozzo primo passo per tener conto di questo effetto assumiamo semplicemente una incertezza di 0,1 magnitudo per i terremoti avvenuti tra il 1972 ed il 2006, 0,2 per i terremoti avvenuti tra il 1932 ed il 1971 e 0,3 per i terremoti avvenuti tra il 1700 ed il 1931, seguendo le linee guida proposte da K. Felzer per i terremoti in California (comunicazione personale, 2007). Queste assunzioni non sono state testate per gli Stati Uniti Centrali e Orientali. Inoltre le riduzioni di frequenza possono essere forti vicino a isolati, vecchi forti terremoti che abbiamo fatto uno sforzo particolare nel rappresentare nel modello di rischio (vedasi la precedente discussione su Nemaha Ridge). Per queste ragioni i modelli di sismicità su griglia con e senza le correzioni sulle incertezze sulla magnitudo sono stati combinati con pesi rispettivi pari a 1/3 e 2/3 nel modello di rischio finale. Crediamo che sia importante modellare le incertezze sulla magnitudo in modo preliminare, ma non siamo pronti ad inglobarle del tutto nel Modello per gli Stati Uniti Centrali e Orientali poiché sono in corso ulteriori studi e ricerche. In mancanza di alcuna informazione su cui basare le correzioni nel modello non abbiamo fatto alcun tentativo di tenere conto di possibili effetti di arrotondamento nelle magnitudo ([...]).

Riconosciamo che, nello sforzo di includere il maggior numero possibile di terremoti di bassa sismicità nel modello per gli Stati Uniti Centrali e Orientali, siamo stati in qualche misura ottimistici nella scelta dei livelli di completezza. Per tener conto di questo le frequenze sismiche in ciascuna maglia elementare sono moltiplicate per fattori che tengono conto delle differenze regionali tra “veri” livelli di completezza determinati dalla parte contemporanea del catalogo (a partire dal 1976) ed i livelli assunti (Mueller e altri, 1997).”

Infine, tornando al Popper dell'esergo, viene da chiedersi: esiste un esperimento ideale ma realizzabile che possa *falsificare* i valori di accelerazione sismica predetti dalle mappe (quelle americane e quelle italiane)?

Se dico che nei prossimi 2475 anni in questo sito (ID18007 pag. 450 GU) arriverà un sisma 0,2968g (sic) potrò mai ideare un esperimento che mi dica se questa affermazione è vera o falsa? E se la risposta è negativa allora possiamo considerare “scientifici” i metodi numerici che portano a queste conclusioni, e possiamo montare su di loro complicate interpolazioni basate sulla tacita dimenticanza di tutti gli spaventosi compromessi che sono stati fatti per arrivare a questi numeri?

Conclusioni

Abbiamo passato in rassegna alcune delle più importanti novità delle **NNS** e dimostrato che si tratta di innovazioni molto forti.

Ora disponiamo di mappe dettagliate e ingegneristicamente affidabili, e sappiamo come da tali mappe passare ai valori puntuali tramite stabili metodi di interpolazione, $F \notin C^0$, tali da poter essere usati con sicurezza dalle migliaia di operatori del settore delle costruzioni.

Tutti gli ingegneri geometri ed architetti italiani dovranno calcolare mediante formule apparentemente rigorose e con tre o quattro cifre significative, accelerazioni che derivano da dati ottenuti mediante metodologie che, in effetti, lavorano sulla prima cifra significativa.

E' un risultato indubbiamente innovativo.

/1/ Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, EPC LIBRI, in press (a cura di P. Rugarli)

/2/ Rugarli P., Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti, EPC LIBRI, Roma, 2003