

# LA DIFESA DAI TERREMOTI E IL PROGRESSO SCIENTIFICO

di

Maurizio Leggeri

BASILICATA REGIONE *Notizie*

**D**a molti anni si discute sulla situazione italiana molto precaria nel settore del rischio sismico che è, purtroppo, particolarmente elevato in una considerevole fascia del suo territorio.

Il tardivo riconoscimento da parte del Governo delle aree ufficialmente riconosciute come sismiche, ha accumulato, negli anni, un notevole arretrato di edifici progettati e calcolati senza la necessaria copertura dalle sollecitazioni indotte dai terremoti. In particolare, dopo la seconda guerra mondiale, a causa del giustificabile desiderio di rinascita e di miglioramento delle condizioni di vita, le nostre città hanno registrato notevoli sviluppi, senza tenere in alcun conto l'esposizione al rischio di terremoto, aggravando una situazione già critica in partenza che richiede una urgente correzione.

Solo dopo l'evento del 23 novembre 1980, a partire dal marzo 1981, i comuni ufficialmente riconosciuti in Italia salirono da (circa) 1000 a 4000, ma ciò costituì un buon rimedio solo nelle zone distrutte, lasciando il resto del territorio in una permanente situazione di pericolo. Pensare ad un "adeguamento sismico" a tappeto è pura fantasia: le risorse economiche dello Stato non potranno mai consentire questa dispendiosa operazione.

Le nostre esperienze lucane di un passato recente (terremoti del 1980, 1990, 1991, 1998) hanno suggerito diffuse sperimentazioni per la riduzione del rischio, prima approfondite con analisi teoriche molto sofisticate, poi realizzate e collaudate dagli eventi successivi,

verificatisi dopo brevi intervalli rispetto al *big-one* del 1980.

Dopo questo terribile evento, è stata percepita una più semplice soluzione (condizionata da ridotte disponibilità economiche) che è quella del cosiddetto “miglioramento sismico” che, dopo il terremoto del 1997 in Umbria, è stato riconosciuto dalla nuova regolamentazione. Dal punto di vista scientifico questa operazione è certamente più brillante, poiché specificamente sviluppata in base alle caratteristiche del sito ove è stato costruito l’edificio. In sintesi, l’obiettivo finale è quello di aggiungere al fabbricato esistente le capacità di resistenza sismica evitandone il crollo (anche se è prevedibile un danneggiamento in caso di forte terremoto). In questa maniera viene raggiunto lo scopo che è quello di salvare le vite umane.

#### VALUTAZIONI DELL’EFFETTIVO RISCHIO SISMICO TERRITORIALE

Per raggiungere il risultato desiderato, come primo gradino bisogna valutare, caso per caso, l’effettivo rischio territoriale, senza fermarsi alla semplice lettura della catalogazione sismica che molto spesso è purtroppo carente.

Le norme sismiche valide in Italia, non contengono esplicite indicazioni circa i criteri che hanno condotto alla scelta dei valori delle PGA (accelerazioni del suolo), per le diverse categorie previste dal regolamento.

Si trova soltanto, nella letteratura scientifica, come largamente accettato, il seguente criterio valido per tutte le costruzioni ordinarie: *“una costruzione deve resistere, al limite di duttilità ammissibile, ad un terremoto la cui intensità corrisponde, nel sito*

*in esame, ad una probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Questa probabilità corrisponde, a sua volta, ad un periodo di ritorno di 500 anni”*.

Il Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) ha provveduto, a suo tempo, ad elaborare i dati disponibili riguardanti 500 Comuni dell’Italia Meridionale.

Per la 2<sup>a</sup> categoria, risulta in media  $MCS(500)=8.3$ ,  $PGA(500)=0.19$ , anche se vi sono comuni classificati in 2<sup>a</sup>, con pericolosità assai maggiore, tra cui la stessa città di Potenza.

Qui troviamo, infatti,  $MCS(500)=9$ , con  $PGA(500)=0.25$ .

Nella figura 1, si riporta una immagine di Potenza da satellite IKONOS, alla quale è stata sovrapposta la simulazione dello “Scenario” generato dalla Faglia Irpina, che risulta essere

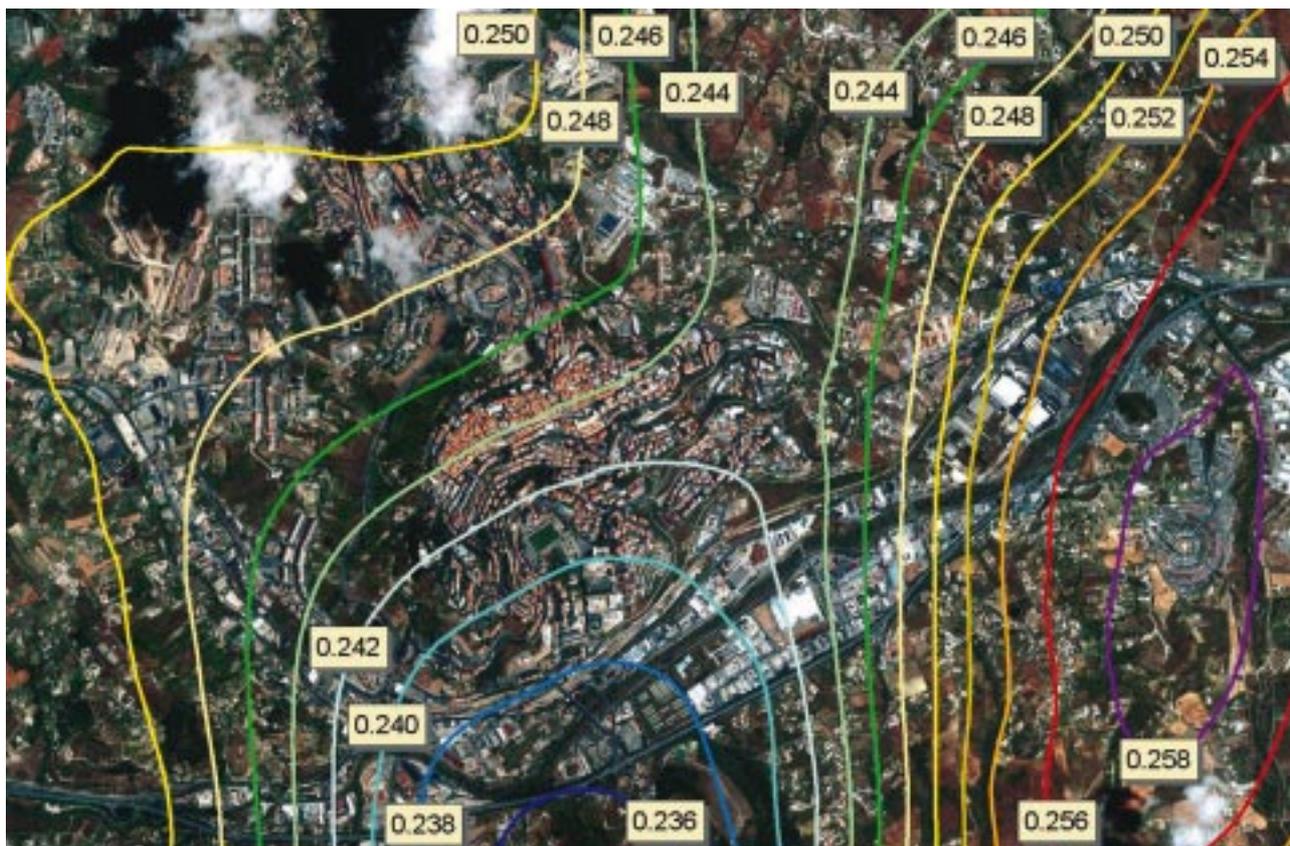


Fig. 1 - Scenario Faglia Irpina per la città di Potenza.

la più pericolosa per buona parte della Basilicata (v. bibliografia [1]).

In generale, ed in maniera semplificativa, per le varie simulazioni nella città di Potenza, può essere assunto un valore medio della PGA pari a 0.25.

Ma non bisogna trascurare che l'effetto reale prodotto dalla PGA sull'edificio analizzato dipende, in maniera predominante, dalle caratteristiche del terreno ove lo stesso è stato fondato (v. bibliografia [2, 3]).

### **SIMULAZIONE DELLA TIME HISTORY NEL SITO ANALIZZATO (PSEUDOACCELEROGRAMMA)**

Utilizzando tutti i parametri precedentemente individuati, può essere simulata la *Time History* del sito<sup>1</sup>, con una duplice ipotesi, ottenuta da una PGA (al suolo) pari a 0.25 e da due possibili diversi comportamenti relativamente a:

1. Ritardo onda P/onda S (in funzione della distanza dall'epicentro);
2. *Decay* (finale) del segnale.

Le due differenti ipotesi forniscono, ovviamente, due spettri di risposta di poco diversi, ma è fondamentale osservare (nel successivo paragrafo) che, nella loro somiglianza, entrambi individuano un periodo fondamentale T del suolo, molto prossimo per entrambe le soluzioni.

### **SPETTRI DI RISPOSTA**

Per entrambe le *Time History*, vengono infatti calcolati gli spettri di risposta, utilizzando due differenti programmi e, precisamente:

1. Programma SPECTR, dell'Università di Berkeley,

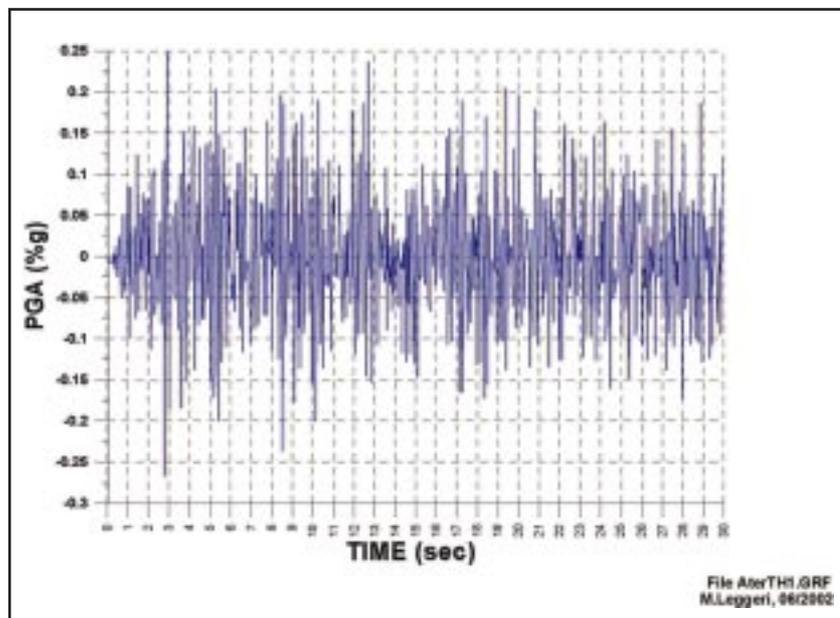


Fig. 2 - Time History Ipotesi 1.

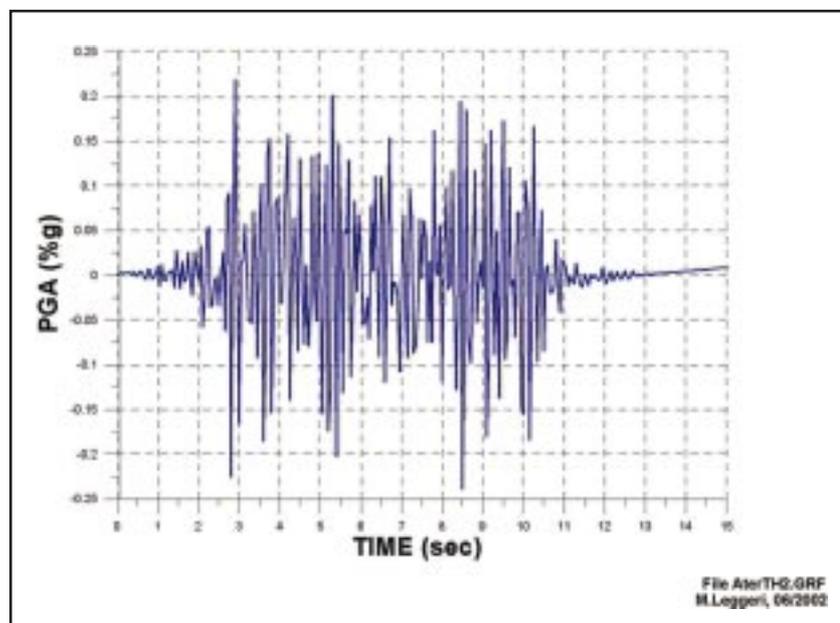


Fig. 3 - Time History Ipotesi 2.

California, distribuito dal NISEE, per il quale è stata anche predisposta dallo scrivente la conversione in Fortran Microsoft Dos, per Personal Computer;

2. Programma SPETFILE, la cui versione originaria risale al 1980, su sviluppo dell'Istituto Nazionale di Geofisica (su HP 1000), adattata dallo scrivente al *mainframe* HP 3000.

Per brevità di esposizione si

riporta nella figura seguente, soltanto lo spettro ottenuto dalla *Time History* 1, con la metodologia 2 (SPETFILE).

È opportuno segnalare che l'esempio riportato si riferisce ad un caso reale (nella città di Potenza), relativamente ad una formazione geologica molto favorevole (argilla blu sovracconsolidata, in una particolare zona della città) ove il massimo valore dell'accelerazione al

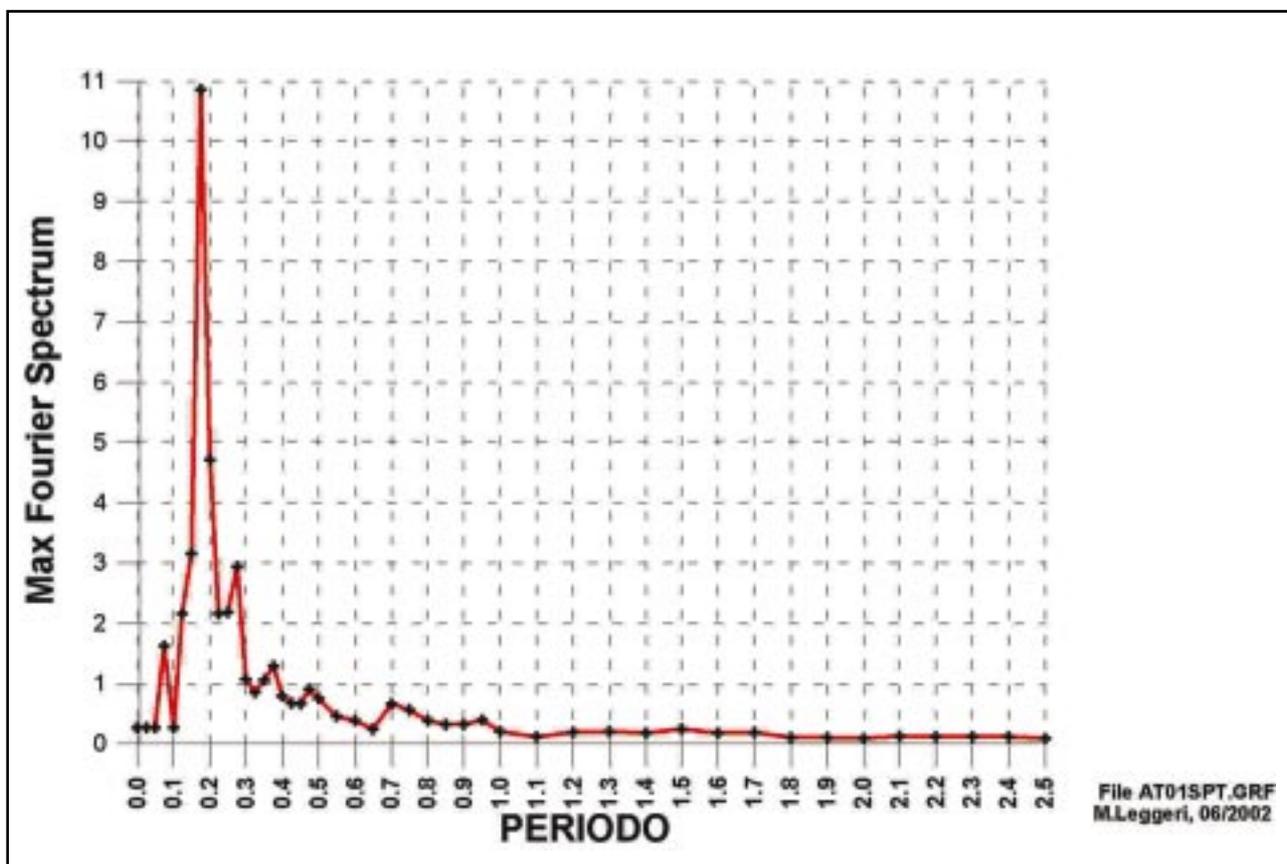


Fig. 4 - Spettro di risposta *Time History* 1 (metodologia SPETFILE).

suolo PGA, si verifica su periodi molto bassi (inferiori a 0.2 secondi), il che indica l'opportunità di propendere per periodi di vibrazione della struttura molto alti.

Questa circostanza necessariamente influenza le scelte finali relative agli interventi sulla struttura, suggerendo la strada ottimale da seguire nel progetto del "miglioramento sismico".

#### **STUDIO DEI PARAMETRI DI INTERVENTO SULLA STRUTTURA**

Nel paragrafo 1 si è fatto riferimento alle norme sismiche valide in Italia, ed ai semplificati criteri che hanno condotto alla scelta dei valori delle PGA (accelerazioni al suolo), per le diverse categorie previste dal regolamento.

È comunque più che accertato che i parametri di accelerazio-

ne sismica assunti nella normativa per il calcolo degli edifici, vengono definiti, oltre che sulla base della PGA ipotizzata nel sito, anche sui valori medi della duttilità della struttura [4] e dell'amplificazione spettrale, per cui risulta molto interessante esaminare ed approfondire la variazione dell'accelerazione "di calcolo" trasmessa dal terreno all'edificio in funzione dei due parametri suddetti.

Particolarmente ed inequivocabilmente questa operazione viene utilizzata nel corso della progettazione di miglioramento strutturale.

Come si è detto l'amplificazione spettrale gioca un ruolo molto importante, così come la duttilità della struttura [4] per cui, in terreni particolarmente favorevoli, si registrano attenuazioni complessive considerevoli

della sollecitazione sismica.

Uno studio particolare sviluppato dallo scrivente, circa il parametro più attendibile da adottare per la valutazione dell'amplificazione spettrale, ha evidenziato una marcata variazione in funzione della velocità delle onde S nel mezzo [5, 6, 7].

Tale recente ricerca (luglio 1999) viene illustrata nella successiva figura 5, ove la curva polinomiale (di 7° grado) indica la variazione dell'amplificazione spettrale, in funzione della velocità delle onde S che si propagano nel mezzo.

#### **VERIFICA DELLE STRUTTURE ESISTENTI: SCELTA DEL SOFTWARE PIÙ ADATTO**

Come si è detto nel precedente paragrafo, per la formulazione di un meditato parere circa gli

interventi da apportare alla struttura, si è pensato di sviluppare una attenta verifica sismica della struttura esistente, con l'ausilio di sofisticati e collaudati codici di calcolo.

Questa scelta è stata necessariamente condizionata da una ininterrotta e collaudata esperienza in questo specifico settore (iniziata circa 46 anni addietro), dopo un lungo iter di calcolazioni effettuate in zona sismica, prima con il regolo (1957), poi con i primi computer da tavolo (dal 1965) ed infine con calcolatori sempre più evoluti, compreso anche un sistema "mainframe",

che ha in seguito permesso anche l'utilizzazione di *softwares* molto evoluti di diverse Università USA, previo adattamento (molto faticoso) dei correnti linguaggi presso il NISEE di Berkeley, rispetto a quelli dei sistemi in uso. Questa lunghissima trafila ha inevitabilmente portato ad interessanti esperimenti, compiuti dopo il forte terremoto del 1980. A quell'epoca non era previsto dalla legislazione "il miglioramento sismico", permesso solo per edifici storici e si è dovuto attendere (come già detto) il terremoto dell'Umbria (1997) per poter

estendere questa opzione anche agli edifici comuni.

Ma subito dopo il novembre 1980, fu emanata dal Ministro Zamberletti una ordinanza (la n. 80) per la semplice riparazione degli edifici danneggiati, con una copertura economica di 10.000.000 di vecchie lire ad appartamento.

Quindi nulla poteva vietare l'utilizzazione di una piccola fetta di questa somma per qualche miglioramento strutturale. Questa opzione, richiedeva comunque un approfondito esame della struttura con impegnativi calcoli di verifica, che non essendo richiesti, non

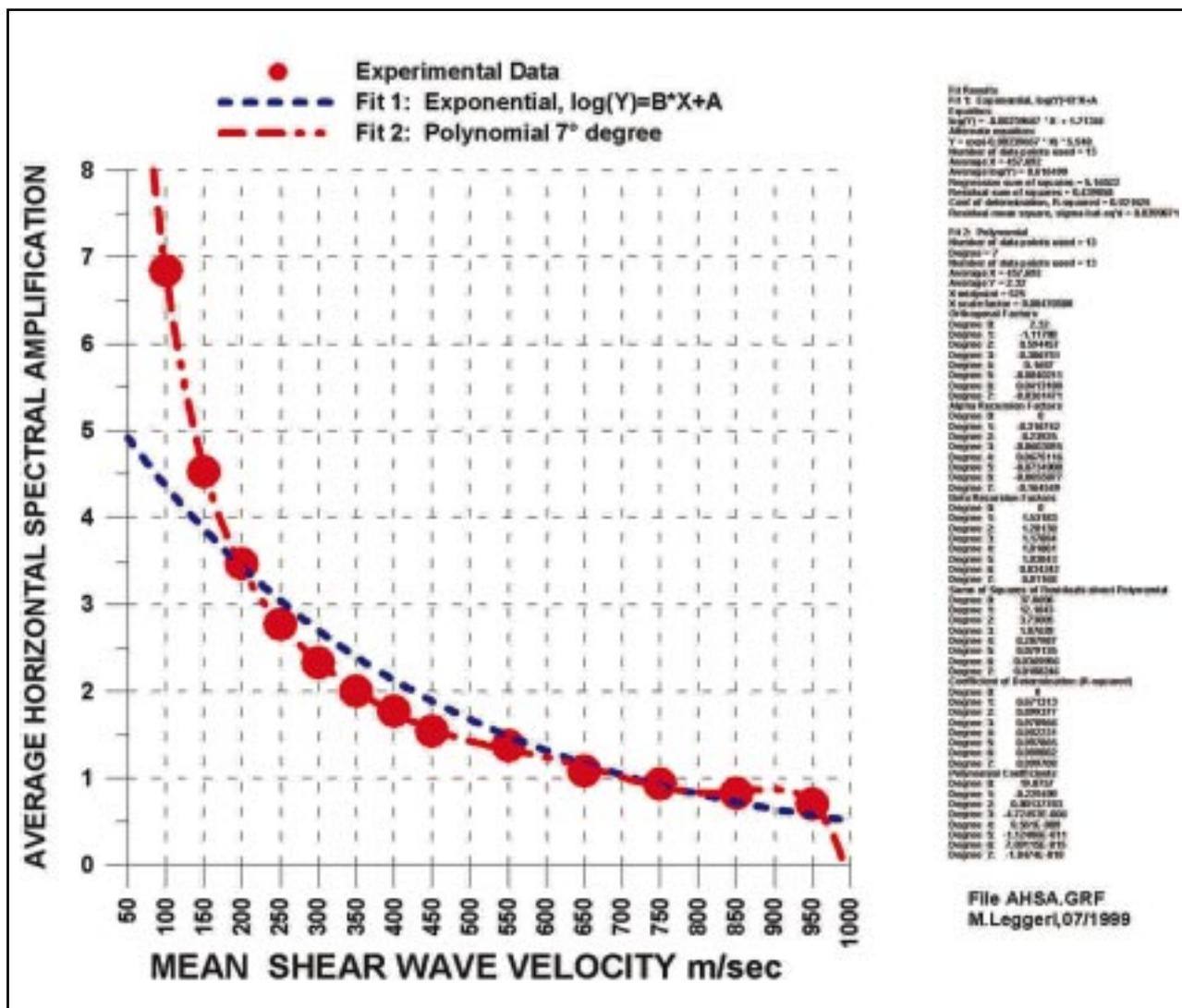


Fig. 5 - Legge polinomiale relativa alla variazione di amplificazione spettrale in funzione della velocità delle onde S.

venivano, ovviamente, retribuiti.

Ciò malgrado sembrò poco professionale, per lo scrivente, limitarsi alla semplice cucitura delle lesioni, per cui furono verificati centinaia di edifici<sup>2</sup> con individuazione delle parti strutturali più deboli e successivi rinforzi "mirati".

I successivi terremoti del 1990 e 1991, collaudarono, con successo (addirittura superiore alle più rosee aspettative) queste strutture, per questo si è ancor più radicato il convincimento sulla validità dell'operazione del semplice "miglioramento sismico", che in ogni caso (anche a seguito di forti terremoti) risulta sufficiente ad evitarne il crollo, salvando molte vite umane.

A tutto ciò si deve aggiungere una particolare esperienza ed attenzione sulla scelta della più adatta procedura da adottare nella procedura di calcolo.

Come è noto esistono oggi numerosi codici matematici per la verifica di edifici in zona sismica, ma per questo edificio (come per altri) è stato preferito un software specifico, *appositamente creato per l'analisi degli edifici intelaiati*, consentendo soluzioni non solo più veloci, ma anche più realistiche rispetto ad altri programmi strutturali di tipo *general-purpose*, come ad es. le varie *releases* del SAP, oggi generalmente usate dalla maggior parte degli ingegneri strutturalisti.

È comunque opportuno precisare, che "a latere" può anche essere utilizzato un SW che applica il solutore SAP, con risultati che possono essere ritenuti, a buona ragione, meno attendibili rispetto alla reale situazione dell'edificio, poiché cautelativi in maniera eccessiva.

Il modello ETABS<sup>3</sup> (v. bibliografia [8, 9]) è, da molti anni, il solutore più usato negli USA, (in particolare in California), sia per la calcolazione di nuovi edifici che per operazioni di *retrofit*, come è facile constatare dall'esame di tutte le riviste specializzate americane, quali ad es. *Earthquake Spectra, Professional Journal of the Earthquake Engineering Research Institute* (EERI). Subito dopo il terremoto di San Francisco del 17/10/1989, nel gennaio 1990, partecipando, su invito dell'Università di Berkeley, ad un convegno<sup>4</sup> finalizzato alla ricerca delle cause che avevano determinato il crollo del *Cypress Street Viaduct* (nonché i danni al *Bay Bridge* ed altri ponti - v. bibliografia [10]) fu anche possibile constatare l'ottimo comportamento strutturale dei più alti grattacieli di San Francisco, per la maggior parte calcolati con modelli ETABS. Tale circostanza fu anche sottolineata dalla stampa californiana e riportata anche su riviste italiane, quali ad esempio *Computer Grafica*: v. l'articolo di Barbara Warthen, "Progettare contro i disastri: il software di analisi sismica permette la costruzione di edifici più sicuri" (*Rivista Computer Grafica & Desktop Publishing*, anno 4°, n. 28, ottobre 1990 - Gruppo Editoriale Jackson, v. bibliografia [11] in cui si legge "*Per la maggior parte dei grattacieli costruiti a San Francisco negli ultimi 15 anni, è stato utilizzato ETABS. Tali edifici hanno superato indenni il terremoto del 1989<sup>5</sup>. Il grattacielo del Marriot Hotel, di recente inaugurazione, è una struttura la cui stabilità è dovuta ad etabs*"). Purtroppo in Italia questo modello è scarsamente usato, soprattutto per la diffi-

coltà di uso, senza ausilio di processori grafici di *input* e di *output*. Il caricamento dei dati è infatti molto complesso e delicato, tanto che, a suo tempo, per facilitarne l'uso, fu elaborato dallo scrivente, un programma di caricamento in Basic composto da ben 5.700 righe per l'Etabs e 9.110 per il Super Etabs (sia pure di passo 10).

---

## I RISULTATI DELLE VERIFICHE

---

A seguito delle scelte maturate in base ai criteri indicati nel precedente paragrafo, si può quindi procedere alla calcolazione delle strutture esistenti, soggette a sollecitazione sismica, nell'ipotesi prevista dagli attuali regolamenti, dopo aver provveduto, preliminarmente, ad un'analisi della forma dell'edificio per verificarne la configurazione secondo i criteri ben illustrati nel testo di Chris Arnold (Presidente dell'*Earthquake Engineering Research Institute*, Oakland, California) e Robert Reithermann "*Building Configuration & Seismic Design*" (v. bibliografia [12]).

L'analisi della forma (elaborata con apposito programma redatto dallo scrivente per calcolare le caratteristiche geometriche ed elastiche di qualsiasi figura piana a mezzo *input* delle coordinate del perimetro), ci fornisce già una prima indicazione sul probabile comportamento della struttura (v. bibliografia [4]).

Dall'analisi della verifica sismica di un fabbricato antecedente alla progettazione sismica, sia per i pilastri che per le travi, le sollecitazioni superano sempre i limiti delle tensioni ammissibili. Ma ciò che si intende qui sottolineare è la evidente attenua-

zione che può essere prodotta nei casi di favorevoli condizioni geotecniche, nonché dai previsti interventi “mirati” alla struttura (inserimento di sistemi passivi o uso diffuso di “fiber reinforced polymer frp”, con contemporanee riduzioni delle masse in gioco a mezzo di diffusi alleggerimenti per i materiali non portanti), tali da influenzare positivamente i valori della duttilità [4].

Da tutto quanto osservato, si desume che le ipotesi iniziali, che condizionano le filosofie di intervento sulla struttura, vengono poi confermate dallo sviluppo dei calcoli. Quindi gli interventi individuati, risultano sufficienti per ottenere il risultato di sicurezza a mezzo di ottimale distribuzione dei controventi dissipativi, o dei rinforzi frp, sulla base dei risultati forniti dai tabulati di calcolo e dalle necessarie considerazioni economico.

## CONCLUSIONI

In conclusione, è opportuno sottolineare che ai cronici ritardi legislativi sui tardivi aggiornamenti delle classificazioni sismiche, bisogna purtroppo aggiungere altri nei in questo settore. Nel campo della normativa sismica il discorso non è certamente più allegro, perché molte imperfezioni vanno tempestivamente corrette.

È quindi indispensabile attivare un grande impegno per la massima diffusione culturale rispetto a quanto già recentemente pubblicato (v. bibliografia [14...22]) ed a tutti gli altri studi in corso, in campo mondiale.

Ogni approfondimento deve poi trovare pratica applicazione nella revisione strutturale degli

edifici a rischio, la cui realizzazione pratica potrà essere attuata soltanto *con leggi speciali di seria incentivazione e snellimento delle procedure da attivarsi a carico dei privati, e con più accattivanti sgravi fiscali rispetto a quelli delle leggi già in vigore.*

Lo Stato deve considerare che i tardivi riconoscimenti delle aree sismiche ufficiali hanno notevolmente penalizzato il cittadino, consentendo di costruire case a rischio e quindi (teoricamente) dovrebbe provvedere direttamente con specifici finanziamenti. Poiché questo non è possibile (vista la situazione economica italiana), lo Stato do-

vrebbe escogitare le condizioni fiscali più favorevoli, poiché questi gravi errori del passato possano essere corretti, altrimenti permangono evidenti situazioni di ingiustizia a sfavore delle regioni più sfortunate, perché più esposte ai rischi naturali.

## Note

<sup>1</sup> V. specifici Softwares distribuiti dal NISEE *National Information Service for Earthquake Engineering* dell'Università di Berkeley (California), quali ad es. CHARSOIL (*Charateristic Method Applied to Soils*), PSEQGN (*Artificial Generation of Earthquake*), SIMQE (*Simulation of Earthquakes Grounds Motions*), SPECEQ/UQ (*Genera-*



tion of Response Spectra), SPECTR (Spectra Response Analysis).

<sup>2</sup> Nell'organizzazione dell'Archstudio, studio tecnico associato, all'epoca di grande prestigio nazionale ed internazionale, fondato nel 1965, lo scrivente era l'unico responsabile della calcolazione ufficiale, per cui, di fatto, fu l'autore dell'intera operazione.

<sup>3</sup> Questo programma fu dallo scrivente importato in Italia dalla California (non per ragioni commerciali ma per uso professionale personale) nel luglio 1984, e fu successivamente modificato per *main-frame* HP 3000, nonché adattato alla normativa sismica italiana. La successiva edizione (*perfezionata ed ampliata*), denominata SUPER-ETABS fu analogamente acquisita a Berkeley all'inizio dell'anno successivo, con le necessarie modifiche effettuate nel gennaio 1985 per HP 3000 e nel maggio 1986 per MS-DOS Fortran.

<sup>4</sup> *Seismic Analysis, Design and Retrofitting of Bridges* - University of California (Berkeley), January 1990.

<sup>5</sup> Come è noto di Magnitudo 7.1 Richter, con una energia liberata pari a 2.82 volte rispetto a quella del 23/11/1980 in Italia meridionale.

## Bibliografia

1. M. Leggeri, "Scenari dei Terremoti in Italia Meridionale", nell'ambito della ricerca "Vulnerabilità Sismica delle Aree Urbanizzate della Regione Basilicata", programma POP-FERS 1994/99 - Ricerca Sviluppo e innovazione, nel ruolo di responsabile scientifico, insieme ad Osservatorio Vesuviano di Napoli (rappresentato dal dott. Giuseppe Vilardo e dal dott. Guido Ventura) e Geocart di Potenza (1999/2000).
2. J.P. Wolf, *Dynamic Soil - Structure Interaction*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
3. J.P. Wolf, *Soil-Structure Interaction Analysis in Time Domain*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
4. M. Como, G. Lanni, *Elementi di*

*costruzioni antisismiche*, Edizioni Scientifiche A. Cremonese, Roma 1979.

5. B.N. Margaris, P.M. Hatzidimitriou, *Source Spectral and Stress release estimates using strong-motion records in Greece*, Bulletin of Seismological Society of America, April 2002, vol. 92, n. 3, 1040-1059.

6. R.D. Borcherdt, *Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)*, Earthquake Spectra, vol. 10, n. 4, november 1994, pages 617-653.

7. R.D. Borcherdt, *Empirical Evidence for Site Coefficients in Building Code Provisions*, Earthquake Spectra, vol. 18, n. 2, may 2002, pages 189-217.

8. M. Leggeri, Conversione in HP 3000 Fortran, del programma etabs sviluppato originariamente da E.L. Wilson, H.H. Dovey and J.P. Hollings, University of California, Berkeley.

9. M. Leggeri, Conversione in HP 3000 Fortran e Microsoft Fortran Dos, del programma SUPER-ETABS: An Enhanced Version of the etabs Program Developed by B.F. Maison and C.F. Neuss, JG Bouwkamp Inc. Berkeley, Ca.

10. Univ. Berkeley, *Seismic Analysis, Design and Retrofitting of Bridges*, Univ. of California (Berkeley), gennaio 1990 (EQ damages in S. Francisco).

11. B. Warthen, *Progettare contro i disastri: il software di analisi sismica permette la costruzione di edifici più sicuri*. Rivista Computer Grafica & Desktop Publishing, anno 4°, n. 28, ottobre 1990, Gruppo Editoriale Jackson.

12. C. Arnold & R. Reithermann, *Building Configuration & Seismic Design*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.

13. M. Leggeri, Programma di calcolo per la valutazione delle caratteristiche geometriche (ed elastiche) di figure qualsiasi (con output di controllo grafico).

14. M. Leggeri, *Seismic Risk Prevention and Protection in*

*Basilicata* in M. Comerio, L. Binda, N. Avramidou (ed.), Learning from Practice (After Recent Earthquakes), National Science Foundation (Washington D.C.), Consiglio Nazionale delle Ricerche (Roma), 61-93 (1992).

15. Convegno EERI/EE, Università di Pavia, 12-14/06/2001: consultare i Siti Web: [www.johnmartin.com/EERI/Pavia](http://www.johnmartin.com/EERI/Pavia); [www.world-housing.net](http://www.world-housing.net)

16. M. Leggeri, *Il rischio sismico in Basilicata* in R. Busi, P. Pontrandolfi (ed.), *La strumentazione urbanistica generale ed attuativa in Basilicata nel decennio 1980-1990*. Potenza (Documentazione Regione), 53-88. (1992).

17. M. Leggeri, *I terremoti della Basilicata* (presentazione di Carlo Doglioni), Edizioni Ermes, Potenza, 1-286, (1997).

18. M. Leggeri, *Di là dalla paura: esperienze pilota* (composto dai paragrafi *Cronache di terrore e Verso una conoscenza scientifica*) in Lida Viganoni (a cura di) *Lo sviluppo possibile: la Basilicata oltre il Sud* (Istituto Orientale di Napoli), Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 59-75, (1997).

19. M. Leggeri, *Scenari dei Terremoti in Italia Meridionale: Proceedings 5<sup>th</sup> International Congress on Restoration of Architectural Heritage* (Firenze, september 17-24, 2000).

20. M. Leggeri, *Seismicity of Region of the Basilicata: Proceedings 6ICSZ Sixth International Conference on Seismic Zonation* (Palm Springs, California, november 12-15, 2000).

21. M. Leggeri, luglio 2002: EERI, California, 7<sup>th</sup> USA National Conference on Earthquake Engineering (7NCEE), Boston (Massachusetts): "Housing construction and seismic risk in the Basilicata region".

22. M. Leggeri, settembre 2002, 12<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering (12ECEE) London, paper which summarizes the Housing Encyclopedia of EERI, California, published by Elsevier Ltd, paper reference 821.