

2. PERICOLOSITA' SISMICA PER LA RICOSTRUZIONE: RISULTATI E CLASSIFICAZIONE SISMICA DI UMBRIA E MARCHE A CONFRONTO

Laura Peruzza⁽¹⁾, Alessandro Rebez⁽²⁾, Dario Slejko⁽²⁾

⁽¹⁾ GNDT c/o OGS, Trieste

⁽²⁾ OGS, Trieste

2.1 Introduzione

A seguito della sequenza di terremoti avvenuti in Umbria-Marche a partire dal 26 settembre 1997, il GNDT ha intrapreso diverse iniziative per lo studio di dettaglio dell'area colpita dal sisma; fra queste sono stati eseguiti anche degli approfondimenti nella valutazione della pericolosità sismica con l'approccio probabilistico, per valutare il moto sismico di riferimento nelle località maggiormente interessate dai terremoti ed in varia misura soggette all'opera di ricostruzione. In particolare, ai diversi contributi apparsi sul sito web del GNDT durante la fase di emergenza, è seguito uno studio (Peruzza, 1998) condotto sulle tre località (Sellano, Fabriano, Nocera Umbra) analizzate dal progetto di microzonazione (Marcellini, 1998) dove sono stati confrontati fra loro gli spettri di risposta a pericolosità costante ottenuti con diverse formulazioni delle relazioni di attenuazione, e in relazione a diverse tipologie di suolo.

In questo contributo vengono analizzate, invece, le stime di pericolosità disponibili per tutte le sedi comunali delle due regioni sopra menzionate, comparando in dettaglio i valori attesi in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) e probabilità di superamento di una data soglia di PGA con la classificazione sismica nazionale. Si ritiene in questo modo di fornire uno strumento utile alla comprensione del collegamento che esiste tra la valutazione probabilistica del moto atteso e le norme costruttive da adottare per la ricostruzione, anche in attesa di un aggiornamento della classificazione sismica che recepisca i prodotti più recenti di pericolosità.

2.2 Classificazione sismica di Umbria e Marche

I comuni dell'Umbria e delle Marche colpiti dalla sequenza sismica iniziata il 26 settembre 1997 appartengono alle provincie di Perugia e Macerata, i cui comuni risultano tutti

Contributo dell'UO OGS-TS1

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante 42/c,
34010, Sgonico, Trieste

Responsabile: L. Peruzza

Contratto n.98.03227.PF54 (Michelini resp.)

e-mail 1° autore: lperuzza@ogs.trieste.it



Fig. 1 - Intensità con periodo di ritorno 500 anni (ridisegnata da Gruppo di Lavoro Scuotibilità, 1979); in nero valori di I=X MCS, grigio più chiaro per I=VI MCS.

attualmente classificati in seconda categoria con la sola eccezione dei comuni più occidentali della provincia di Perugia che non sono classificati (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Servizio Sismico, 1986). Trattandosi del primo terremoto forte avvenuto nell'area dopo la revisione della classificazione sismica nazionale operata tra il 1980 ed il 1984, esso risulta il primo elemento di controllo della classificazione vigente. Alla luce dei danneggiamenti osservati, l'attuale classificazione non sembra sufficientemente cautelativa, anche se bisogna comunque considerare l'effetto penalizzante causato dal susseguirsi di molte scosse di simile energia, con un conseguente effetto di cumulo dei danni osservati.

L'attuale classificazione sismica ha recepito la proposta formulata dal Progetto Finalizzato Geodinamica (PFG) del CNR nel 1980 (Petrini, 1980) sulla base degli studi di pericolosità sismica condotti dal PFG stesso negli anni Settanta (Gruppo di Lavoro Scuotibilità, 1979). La pericolosità è stata stimata applicando un approccio statistico (metodo degli estremi di Gumbel, 1958) diffusamente utilizzato per la previsione di catastrofi naturali. Quale parametro di pericolosità è stata utilizzata l'intensità macrosismica, unica grandezza utilizzabile in quegli anni nei quali non era ancora attiva una adeguata copertura strumentale. I risultati ottenuti allora (Fig. 1) mostrano, per un periodo di ritorno di 500 anni, una limitata area di IX MCS fra le regioni Umbria e Lazio ed una vasta area di VIII MCS che interessa gran parte delle provincie di Perugia e Macerata.

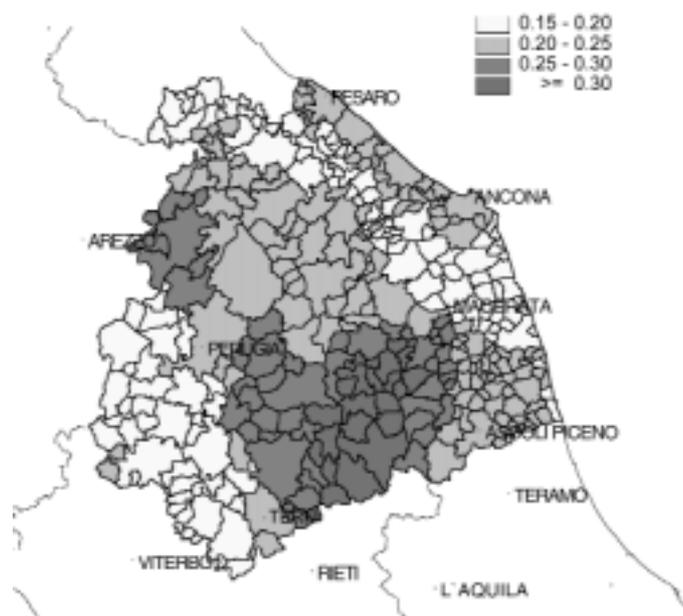


Fig. 2 - PGA con periodo di ritorno 475 anni per i comuni di Umbria-Marche, relazione di attenuazione di Ambraseys et al. (1996) (la figura a colori è riportata in Appendice a pag. 167).

2.3 Pericolosità sismica in Umbria e Marche

Uno degli obiettivi del Piano Triennale 1993-1995 del GNDT è stata la produzione della nuova carta di pericolosità sismica del territorio nazionale. È stato seguito un approccio probabilistico (Cornell, 1968) consolidato a livello internazionale e sviluppato mediante una progettualità coerente che ha portato alla revisione del catalogo dei terremoti (Camassi e Stucchi, 1997) ed alla definizione del modello sismotettonico nazionale (Scandone, 1997) quali elementi necessari per il calcolo della pericolosità sismica. I risultati (Slejko et al., 1998) sia in termini di PGA che di intensità macrosismica e riferiti al periodo di ritorno di 475 anni sono stati consegnati al Dipartimento della Protezione Civile nell'estate 1996. Ulteriori studi (Rebez et al., 1999) hanno presentato le caratteristiche spettrali delle stime di pericolosità nazionali. La Fig. 2 riporta, su base comunale, le stime di PGA con periodo di ritorno 475 anni per Umbria e Marche. Tale carta differisce da quella consegnata alla Protezione Civile in quanto la relazione di attenuazione di PGA (Ambraseys, 1995 in Slejko et al., 1998) è stata sostituita con una formulazione più recente (Ambraseys et al., 1996) calibrata sulla medesima base di dati e differenziata per le caratteristiche del terreno di riferimento e per le componenti spettrali dello scuotimento. Questa è la carta base per l'applicazione dell'Eurocodice sismico e rappresenta la PGA che si prevede non verrà superata al 90% di probabilità in 50 anni, situazione canonica nella progettazione sismica di edilizia civile. Si tratta di una stima stazionaria valida per un periodo qualunque di 50 anni, senza memoria, cioè, del tempo trascorso dall'ultimo terremoto. I calcoli sono stati effettuati considerando le informazioni della sismicità

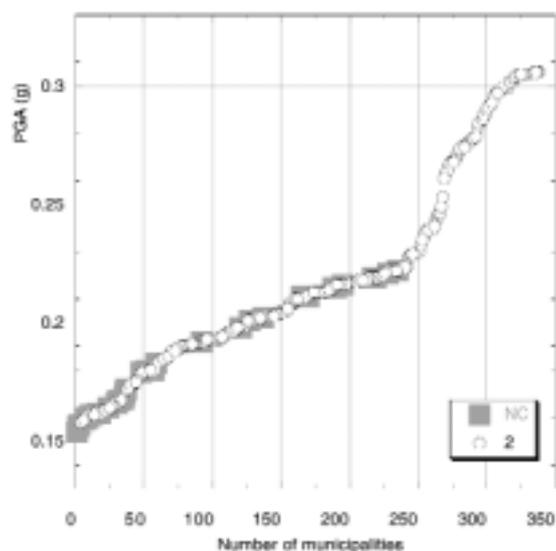


Fig. 3 - Distribuzione della PGA con periodo di ritorno 475 anni di Fig. 2, con simboli ad identificare la classificazione attuale (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Servizio Sismico, 1986).

fino al 1980.

A prescindere dal diverso parametro di pericolosità, le stime di Fig. 2 differiscono sensibilmente da quelle del 1979 (Fig. 1), in particolare per l'estensione dell'area di massimo scuotimento atteso (molto più limitata nella versione del 1979), e per gli effetti previsti lungo la costa adriatica. Conseguentemente, è naturale che la classificazione attuale non tenga nel dovuto conto le più recenti conoscenze sulla pericolosità sismica nazionale. Per analizzare in dettaglio questo aspetto è stata studiata la distribuzione dei valori di PGA rappresentando con specifica simbologia l'attuale classificazione del comune (Fig. 3). Si può notare l'assenza di comuni di prima categoria anche a fronte di un brusco rialzo dei valori di PGA (fino a 0,31 g); inoltre comuni attualmente classificati nella seconda categoria rappresentano l'intera gamma di valori di PGA mentre comuni non classificati hanno valori non trascurabili di PGA (fino a 0,22 g).

Una rappresentazione alternativa della pericolosità sismica di Fig. 2 è data da una mappa a scuotimento costante e probabilità variabile: essa si rivela molto interessante per una corretta progettazione della ricostruzione. L'estimatore probabilità di superamento mostra una maggiore dinamica dell'estimatore PGA ed evidenzia una forte variabilità delle previsioni anche in uno spazio limitato. In Fig. 4 viene riportata la probabilità di superare il valore di 0,1 g di PGA in 30 anni in due diverse condizioni locali (roccia e terreno soffice, nella formulazione proposta da Ambraseys et al., 1996): dalla costa a sud di Ancona all'area nursina si passa da circa il 20% di probabilità ad oltre il 70% nel caso in roccia, mentre la variazione è ancora più sensibile nel caso di terreno soffice. Tale mappa è rappresentativa di scuotimenti moderati in breve periodo di osservazione (cioè terremoti medio-piccoli, ma frequenti, capaci al massimo di causare danni), corrispondenti circa al VII MCS secondo Decanini et al. (1995). Le discrepanze con la classificazione attuale

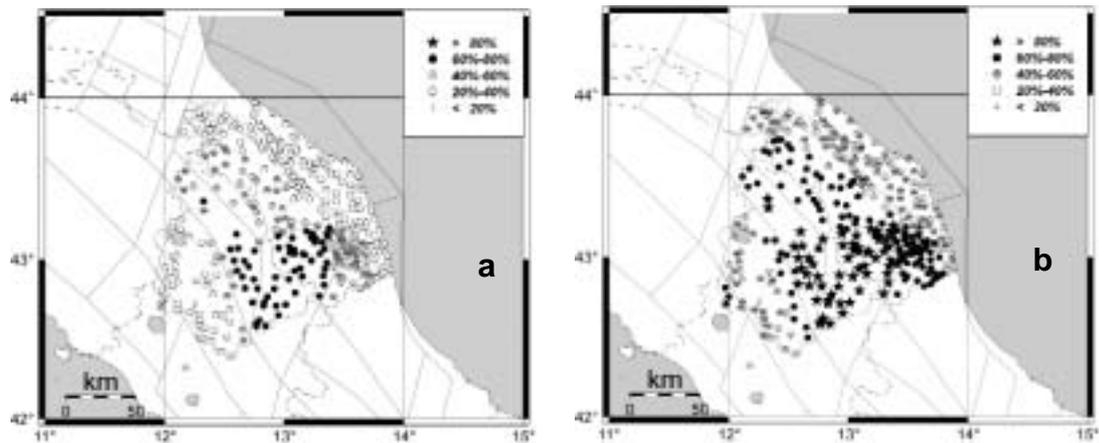


Fig. 4 - Probabilità di superamento di 0,1 g in 30 anni; a) su roccia, b) su terreno soffice.

vengono, dunque, confermate e semmai enfatizzate da questa rappresentazione. Infatti, sia comuni che hanno bassa probabilità di subire danneggiamenti nel breve termine che comuni con alta probabilità risultano classificati assieme nella seconda categoria.

In Fig. 5 viene riportata la probabilità di superare 0,3 g di PGA in 500 anni, tempo di previsione certamente non legato alla vita media presunta del patrimonio abitativo, ma che viceversa può rappresentare l'ipotesi di scuotimento massimo. Si può vedere che circa un terzo del territorio delle regioni Umbria e Marche può essere soggetto, secondo le conoscenze attuali, anche a forti accelerazioni, a seguito di eventi molto forti, seppur meno frequenti, ed in questo senso opere particolari (ad es. discariche speciali) devono essere correttamente progettate. Bisogna ancora ricordare, però, che le stime di pericolosità qui riportate si riferiscono alle condizioni medie di una specifica tipologia di terreno, e che non tengono in alcun conto possibili amplificazioni locali. Le accelerazioni misurabili nel caso di un terremoto possono, dunque, essere sensibilmente maggiori di

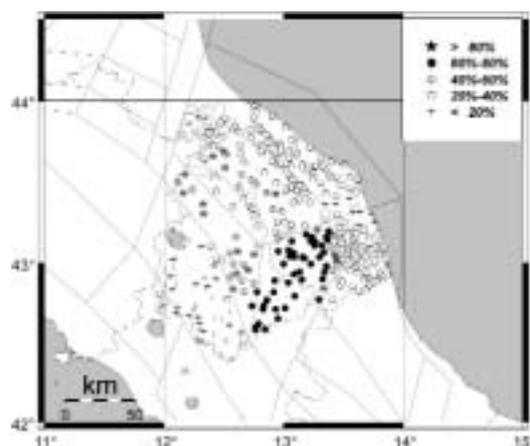


Fig. 5 - Probabilità di superamento di 0,3 g in 500 anni su roccia.

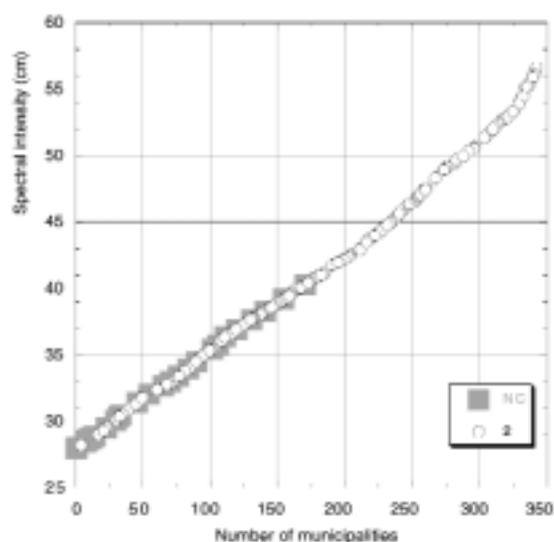


Fig. 6 - Distribuzione della SI con periodo di ritorno 475 anni nell'intervallo di frequenza 0,5-5 Hz, con simboli ad identificare la classificazione attuale (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Servizio Sismico, 1986).

quelle qui descritte. Per una corretta stima del moto del suolo atteso, è necessario abbinare alla valutazione probabilistica una quantificazione dettagliata della risposta sismica locale.

Considerando infine le variazioni della pericolosità in relazione al contenuto in frequenza del moto del suolo atteso, recenti analisi (Peruzza et al., 1998) dimostrano che l'intensità spettrale SI (Housner, 1952) sembra essere un indicatore molto promettente per differenziare lo scuotimento a media frequenza, legato a forti rari terremoti, da quello ad alta frequenza di terremoti frequenti di media magnitudo. La Fig. 6 riporta la distribuzione di SI nella banda di frequenza 0,5 - 5 Hz con periodo di ritorno 475 anni con particolare simbologia ad evidenziare l'attuale classificazione. Si vede, ancora, l'ampia dispersione della seconda categoria rispetto a tutti i valori di SI, ma i comuni non classificati occupano rigorosamente la parte bassa del grafico; l'interpretazione che ne diamo è che l'attuale classificazione favorisce, in qualche misura, la protezione dai forti terremoti rispetto a quelli moderati.

L'individuazione di un unico indicatore di scuotibilità utile alla classificazione sismica risulta, però, molto difficile perchè a indicatori diversi rimangono collegate evidenze diverse.

2.4 Proposta di riclassificazione sismica

Come già detto, il GNDT si è posto quale obiettivo la revisione della classificazione sismica. Le elaborazioni descritte precedentemente hanno fornito numerosi spunti per l'identificazione dell'indicatore di pericolosità più rappresentativo. Dopo numerose prove, si è deciso di definire la nuova classificazione (Gruppo di Lavoro, 1999) sulla base

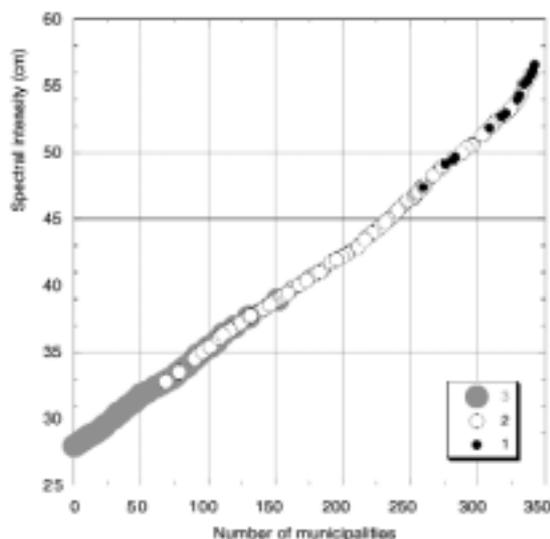


Fig. 7 - Distribuzione della SI con periodo di ritorno 475 anni nell'intervallo di frequenza 0,5-5 Hz, con simboli ad identificare la classificazione proposta (Gruppo di Lavoro, 1999).

di un algoritmo complesso che tiene conto sia dello scuotimento da rari forti terremoti (SI con periodo di ritorno 475 anni nell'intervallo di frequenza 0,5 - 5 Hz), sia di quello da frequenti moderati eventi (SI con periodo di ritorno 100 anni nell'intervallo 2 - 10 Hz), che della massima intensità osservata. La Fig. 7 mostra la distribuzione di SI con periodo di ritorno 475 anni calcolata nell'intervallo di frequenza 0,5 - 5 Hz con particolare simbologia ad evidenziare la classificazione proposta. La correlazione fra scuotibilità e nuova classificazione è ovvia, dato che il parametro SI è uno degli ingredienti utilizzati nella proposta di riclassificazione: va segnalato che la sovrapposizione delle diverse categorie, ed in particolare la sgranatura dei valori di SI corrispondenti alla prima categoria, sono dovute proprio ai criteri multipli utilizzati. La nuova proposta (Gruppo di Lavoro, 1999) classifica tutti i comuni di Umbria e Marche, e alcuni comuni vengono elevati alla prima categoria.

E' interessante, infine, notare il legame esistente fra la nuova proposta di riclassificazione, il livello di scuotimento e la massima intensità osservata. In Fig. 8 vengono riportati i valori di probabilità rispettivamente pari al superamento di 0,1 g in 30 anni e 0,3 g in 500 anni su roccia, in relazione alla classificazione proposta e alla massima intensità osservata (Molin et al., 1996). La classificazione proposta non recepisce in maniera acritica l'osservazione storica, in quanto diversi comuni che hanno in passato sperimentato intensità pari a X MCS non vengono classificati nella categoria a massima pericolosità; quest'ultima viene suggerita solo per i comuni dove si attende una significativa probabilità di superamento della soglia del danno, o della distruzione (Decanini et al., 1995). Similmente la terza categoria corrisponde a bassi valori di probabilità, e rimane limitata alle classi VII e VIII della intensità massima osservata. Più dispersi invece, e di più difficile interpretazione, sono le correlazioni per la seconda categoria, che è rappresentata da

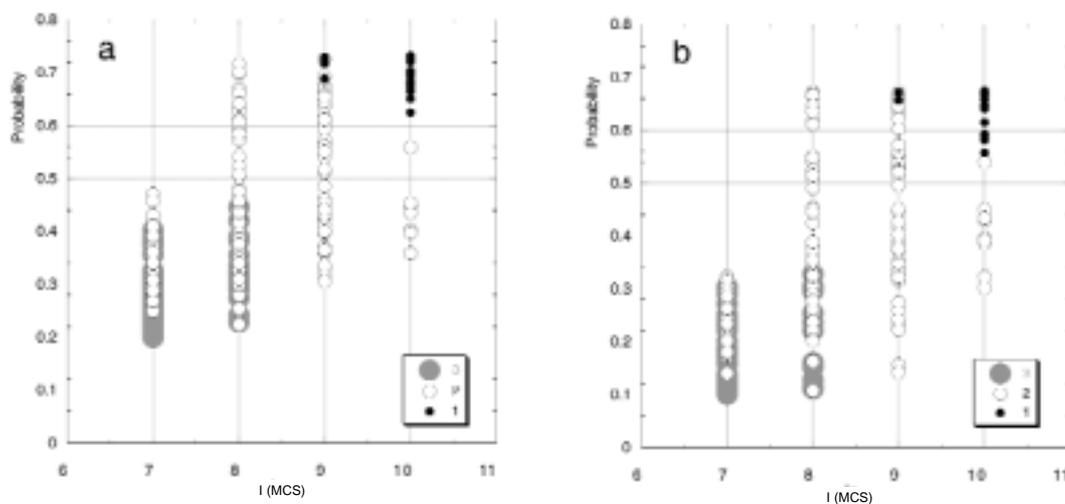


Fig. 8 - Probabilità di superamento di due soglie di scuotimento in funzione della massima intensità osservata nei comuni di Umbria-Marche: a) 0,1 g in 30 anni; b) 0,3 g in 500 anni. Simboli diversi individuano la nuova proposta di classificazione sismica dei comuni.

tutte le possibili combinazioni.

La Fig. 9 riporta la distribuzione dei valori di PGA attesi con periodo di ritorno 475 anni su roccia e su terreno soffice per i comuni di Umbria-Marche; viene graficato anche il relativo valore della massima intensità osservata (Molin et al., 1996). L'aggancio fra valori di PGA e di intensità è controllato dalla relazione di Decanini et al. (1995) per il grado VII e X (MCS). Ipotizzando di assumere quale terreno di riferimento medio per il comune quello il cui valore di PGA attesa più si avvicina alla rispettiva massima intensità osservata, i comuni sono stati speditivamente ripartiti in tipologia soffice (quadrato aperto in Fig. 9) e roccia (croce sempre in Fig. 9). Si tratta soltanto di uno spunto di riflessione finalizzato all'individuazione speditiva del terreno di riferimento per i vari comuni; in particolare, dalla Fig. 9 le intensità X MCS rimarrebbero associate a terreni soffici, mentre la maggioranza dei IX MCS ed i gradi minori a terreni rocciosi.

2.5 Conclusioni

Nonostante la classificazione non possa evitare danni anche ingenti dovuti a fenomeni locali o ad eventuali carenze costruttive, il recente terremoto che ha colpito Umbria e Marche ha mostrato i limiti della classificazione attuale (Fig. 3). Le nuove stime ufficiali di pericolosità sismica (Slejko et al., 1998) realizzate nell'ambito del GNDT (Fig. 2) ed ulteriori elaborazioni recenti (Rebez et al., 1999) suggeriscono l'utilizzo di diversi parametri estimatori della pericolosità sismica (Figg. 4, 5, 6). Su questi presupposti è stata recentemente formulata da un gruppo di lavoro misto GNDT - Servizio Sismico Nazionale una proposta di riclassificazione (Gruppo di Lavoro, 1999) che tramite l'utiliz-

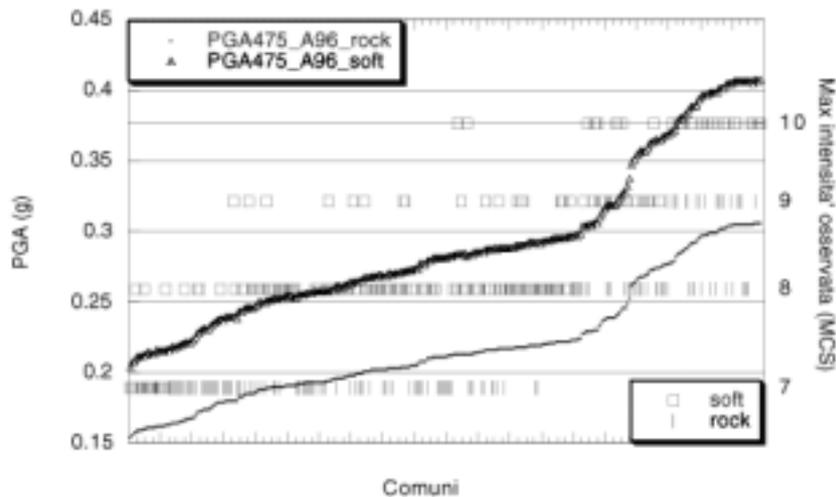


Fig. 9 - Distribuzione delle PGA con periodo di ritorno 475 anni per roccia e terreno soffice (relazioni di attenuazione di Ambraseys et al., 1996) e valori della massima intensità osservata (Molin et al., 1996) nei comuni di Umbria-Marche. I valori di intensità in scala logaritmica sono ancorati a PGA nei gradi VII e X, tramite la relazione proposta da Decanini et al. (1995).

zo incrociato di tre estimatori sembra tener conto efficacemente delle evidenze sismiche (Fig. 7). Ciò nonostante altre evidenze (Fig. 8) suggeriscono di approfondire ulteriormente l'aspetto di risposta locale del terreno, anche se alla scala del territorio comunale; è questa una operazione che deve essere condotta congiuntamente con le amministrazioni locali. L'analisi della distribuzione di PGA su terreni soffici e rocciosi ed il confronto con le massime intensità osservate (Fig. 9) può suggerire la tipologia del terreno comunale medio: se tale suddivisione speditiva su base comunale troverà statisticamente un riscontro oggettivo con le effettive condizioni locali, essa potrà rappresentare un criterio di prima approssimazione per la caratterizzazione delle anomalie legate alla tipologia del suolo. E' questo un aspetto innovativo delle analisi di pericolosità sismica, tradizionalmente riferite a roccia.

Riconoscimenti. Il presente lavoro rendiconta l'attività svolta nell'ambito del contratto 98.03227.PF54 del GNDT. Le elaborazioni utilizzate per la definizione della nuova proposta di classificazione nazionale sono state realizzate insieme al Servizio Sismico Nazionale.

Bibliografia

- Ambraseys N. N. (1995): Reappraisal of the prediction of ground accelerations in Europe - EAEE Working Group report. In: Duma (ed), 10th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 3041-3048.
- Ambraseys N. N., Simpson K. A. and Bommer J. J. (1996): Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, **25**, 371-400.
- Camassi R. e Stucchi M. (1997): *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. Rapporto interno GNDT, Milano, 86 pp.

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Servizio Sismico (1986): *Atlante della classificazione sismica nazionale*. Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 209 pp.
- Cornell C.A. (1968): Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
- Decanini L., Gavarini C. e Mollaioli F. (1995): Proposta di definizione delle relazioni tra intensità macrosismica e parametri del moto del suolo. In: 7° Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Siena 25-28/9/1995, 63-72.
- Gumbel E. J. (1958): *Statistics of extremes*. Columbia Univ. Press, New York, 375 pp.
- Gruppo di Lavoro (1999): Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale. *Ingegneria Sismica*, **14/1**, 5-14.
- Gruppo di Lavoro Scuotibilità (1979): *Carte preliminari di scuotibilità del territorio nazionale*. ESA, Roma, 25 pp.
- Housner G.W. (1952): Spectrum intensities of strong-motion earthquakes. In: Duke C. M., Feigen M., (Eds). Proc. Symp. On Earthquake and Blast Effects Structures. University of California, Los Angeles.
- Marcellini A. (coord.) (1998): Progetto microzonazione sismica Umbria-Marche. Internet, <http://seism.irrs.mi.cnr.it/Ital/project.html>
- Molin D., M. Stucchi e G. Valensise (1996): *Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani*. GNDT-ING-SSN, Milano Roma, 203 pp.
- Peruzza L. (1998): *Progetto Microzonazione Sismica Umbria-Marche. Valutazione del moto sismico di riferimento - Approccio probabilistico*. Relazione esterna OGS28/98 OGA7, Trieste, 12 pp.; e Internet: <http://seism.irrs.mi.cnr.it/Ital/Rapp14/rap14.html>
- Peruzza L., Rebez A. and Slejko D. (1998): Damage oriented spectral seismic hazard. In: 26th General Assembly of ESC. Papers Book, Tel Aviv, 165-169.
- Petrini V. (ed.) (1980): *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*. ESA, Roma, 83 pp.
- Rebez A., Peruzza L. and Slejko D. (1999): Spectral probabilistic seismic hazard assessment for Italy. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **40**, 31-51.
- Scandone P. (1997): Linea di ricerca 2 "Sismotettonica". In: Corsanego A., Faccioli E., Gavarini C., Scandone P., Slejko D. e Stucchi M. (a cura di), *L'attività del GNDT nel triennio 1993 - 1995*, CNR - GNDT, Roma, 67-96.
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A. (1998): Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41**, 183-214.