

# Accelerazioni massime prevedibili nella regione Friuli - Venezia Giulia

C. CHIARUTTINI \*, F. CROSILLA \*\*, L. SIRO \*\*

**SOMMARIO:** Questo articolo presenta tre carte di macrozonazione della regione Friuli - Venezia Giulia. In esse sono indicate le massime accelerazioni orizzontali al suolo prevedibili nella regione sulla base di un periodo di osservazione di 150 anni. Il lavoro è il risultato, da una parte, della interpretazione e dell'analisi dei dati strong-motion disponibili per quest'area e, dall'altra, della applicazione dei risultati ottenuti da una serie di carte del rischio, elaborate recentemente da un gruppo di ricercatori dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste attraverso l'analisi della storia sismica della regione, ed espresse in termini di intensità macrosismiche.

Tutti i dati accelerometrici disponibili per magnitudo  $5.9 \div 6.4$  (quelli del terremoto del Friuli del 1976) sono stati « massimizzati »; attraverso analisi di regressione sono state individuate le leggi di attenuazione della massima accelerazione orizzontale al suolo, con la distanza, per gruppi di siti con situazioni stratigrafiche caratteristiche.

Sono state inoltre individuate delle relazioni attendibili tra intensità macrosismiche ed accelerazioni composte massime (massimizzate). Questi risultati hanno consentito di pervenire alla formulazione delle carte del rischio, che costituiscono un contributo alla scelta di una nuova normativa antisismica per la regione Friuli - Venezia Giulia.

## Premessa

La distribuzione del rischio sismico, in termini di parametri di significato ingegneristico, in aree di varie dimensioni è il tema di ricerca di una collaborazione tra l'unità operativa 2.4.3. del CNR diretta dal Prof. F. Giorgetti, che si occupa di rischio sismico ed ingegneria antisismica, nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica, presso l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, e l'Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Università di Trieste.

Sia questo lavoro, che le analisi spettrali « massimizzate », altrove presentate, sono stati resi possibili dalla disponibilità dei dati accelerometrici registrati dall'ENEL e dal CNEN, sotto il coordinamento della Commissione Mista per lo studio dei problemi sismici connessi con la realizzazione di impianti nucleari. A questi due Enti va il ringraziamento degli autori.

## Introduzione

L'esame della letteratura esistente sulla distribuzione delle zone soggette in passato a terremoti distruttivi in Italia ed il paragone con le aree comprese nella vigente normativa per le costruzioni antisismiche rileva che la « copertura » del rischio è insufficiente, sia in termini di parametri massimi del moto dello spettro di progetto, che di estensione delle zone ufficialmente dichiarate sismiche.

(\*) Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Università di Trieste, Via dell'Università 7, Trieste, Italia.

(\*\*) Ricercatori C.N.R. c/o Osservatorio Geofisico Sperimentale, C.P. 2011, Opicina, Trieste, Italia.

Ad esempio il terremoto del Friuli del 1976 ha colpito vaste aree che non erano inserite, ed in parte ancora non lo sono, nemmeno nella categoria a sismicità più bassa.

Purtroppo, in Italia esistono situazioni anche peggiori, che attendono un'urgente soluzione dall'aggiornamento della normativa nazionale.

Lo scopo di questo studio è di fornire la distribuzione del rischio sismico nella regione Friuli - Venezia Giulia, per mezzo delle massime accelerazioni prevedibili nelle varie zone, a seconda delle caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti.

Generalmente, in sede di valutazione delle caratteristiche regionali di risposta sismica dei vari tipi di sedimenti affioranti, si usa raggruppare le situazioni stratigrafiche caratteristiche in poche categorie: 4 nello studio di SEED *et al.* [1976] e cioè rocce, suoli duri, alluvioni profonde, argille e sabbie da poco a mediamente consolidate; 4 anche nello studio di MOHRAZ [1976] e cioè rocce, alluvioni di profondità inferiore a 10 m, tra 10 e 65 metri, superiore a 65 metri.

I dati strumentali vengono trattati dal punto di vista statistico. Se ne ottengono delle leggi, che presentano sempre elevate dispersioni; esse servono ad individuare i valori probabilisticamente attesi della sismicità regionale.

La dispersione rispecchia appunto l'influenza delle tipologie dei siti in rapporto alla natura dei meccanismi focali. La determinazione dell'influenza di questi fattori particolari viene eseguita attraverso analisi locali più dettagliate, che sono in genere destinate alla costruzione

di opere di particolare importanza od impegno progettuale.

La macrozonazione, che viene qui presentata, è finalizzata alla formulazione di una normativa antisismica regionale e contribuisce a definire in modo ingegneristicamente significativo la sismicità della zona.

Inoltre, le leggi di attenuazione delle accelerazioni massimizzate con la distanza, e le relazioni accelerazioni al suolo nel piano orizzontale-intensità macrosismiche osservate, ottenute ora nell'Italia Nord-Orientale, costituiscono un contributo alla determinazione della distribuzione del rischio sismico anche nelle altre regioni. Ciò potrà venire fatto meglio di quanto non fosse possibile finora con l'utilizzazione di dati provenienti da località americane o giapponesi, caratterizzate da situazioni geosismiche diverse.

## 1. La macrozonazione sismica

Viene così definita l'individuazione della distribuzione del rischio sismico in vaste aree, delle dimensioni di una nazione od una regione.

### 1.1. I metodi utilizzati

Schematicamente, la macrozonazione può venire effettuata attraverso l'analisi della sismicità storica, sia con l'interpretazione dei dati qualitativi che di quelli recenti strumentali (intensità macrosismiche locali, epicentri, magnitudo), oppure attribuendo alle strutture sismotettoniche presenti nell'area delle « potenzialità sismiche », attraverso la valutazione delle magnitudo probabili e l'applicazione di leggi di attenuazione di parametri del moto misurati strumentalmente.

Nel primo caso si giunge alla definizione del rischio attraverso l'esame delle intensità macrosismiche locali, da trasformare poi in dati ad es. di accelerazione al suolo; nel secondo si calcola direttamente il valore del parametro del moto (accelerazione, velocità) probabilisticamente atteso nelle varie zone. Le due metodologie comunque trovano varie applicazioni e vengono spesso reciprocamente integrate.

In entrambi i casi è necessario definire le leggi di attenuazione. Nel primo caso è inoltre necessario cercare di individuare una relazione tra intensità macrosismica e parametri del moto.

Frutto di un approccio del primo tipo è una serie di carte elaborate da un gruppo di ricerca-

tori dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste [GIORGETTI *et al.*, 1978] e presentate al V Meeting della Società Geofisica Europea, a Strasburgo (29 agosto - 5 settembre 1978). Lo studio macrosismico è stato il frutto della elaborazione dei circa 4000 dati storici contenuti nel Catalogo delle Alpi Orientali [BERNARDIS *et al.*, non ancora pubbl.]. Attraverso l'individuazione delle varie aree sismogenetiche, delle caratteristiche di attenuazione nelle varie direzioni, dedotte dalla distribuzione delle isosiste di terremoti storici, del numero di scosse per ogni intervallo di intensità macrosismica, delle intensità ipocentrali etc., questi Autori hanno calcolato le massime intensità che si sono manifestate in ogni punto della regione in periodi di tempo prefissati e, viceversa, i periodi di ritorno delle intensità macrosismiche. L'elaborazione dei dati è avvenuta con l'uso di un programma preparato allo scopo, in linguaggio Fortran IV.

## 2. L'elaborazione dei dati accelerometrici Strong-motion

La metodologia comunemente adottata per il calcolo delle leggi di attenuazione sia della massima accelerazione orizzontale al suolo, che della massima velocità, prevede l'assunzione dei massimi valori effettivamente registrati dagli strumenti alle varie distanze dagli epicentri e la loro regressione in funzione, anche, delle magnitudo pertinenti alle scosse considerate.

Nel corso dell'analisi dei dati accelerometrici disponibili per la regione in esame, è stato notato che, soprattutto a brevi distanze epicentrali, e su suoli duri, le onde in arrivo presentano spesso una sensibile polarizzazione. Dal momento che le stazioni registrano lungo tre direzioni principali, la cui orientazione rispetto alla vibrazione in arrivo è del tutto casuale, può accadere che i valori registrati, ad es. nel piano orizzontale, siano sensibilmente inferiori a quelli che si verificano realmente.

Per tener conto di questo fenomeno, è stata eseguita la composizione vettoriale delle registrazioni nel piano orizzontale, nel dominio dei tempi. Si sono ottenute così le massime accelerazioni « vere », che vengono indicate come « massimizzate ».

### 2.1. Accelerazioni massimizzate

Questa operazione è stata eseguita su tutte le registrazioni dell'ENEL-CNEN; l'incremento

medio delle accelerazioni massimizzate, per distanze epicentrali inferiori a 60-80 km, rispetto ai dati registrati è stata del 13,5%, con un aumento massimo del 23,5%; proprio per la scossa principale del 6 maggio 1976.

In generale, i vettori rotanti nel piano orizzontale mostrano, come si è detto, polarizzazioni più spiccate a brevi distanze e su suoli duri.

## 2.2. Polarizzazioni

A titolo di esempio, la figura 1 mostra le tracce dei vettori rotanti per una scossa distante circa 3,9 km registrata su roccia nella stazione di S. Rocco e per una scossa distante circa 14,5 km registrata a Maiano su depositi alluvionali profondi e non molto rigidi.

È evidente la notevole polarizzazione riscontrata nel primo caso. L'esame delle registrazioni delle stesse scosse in siti diversi pare confermare queste considerazioni.

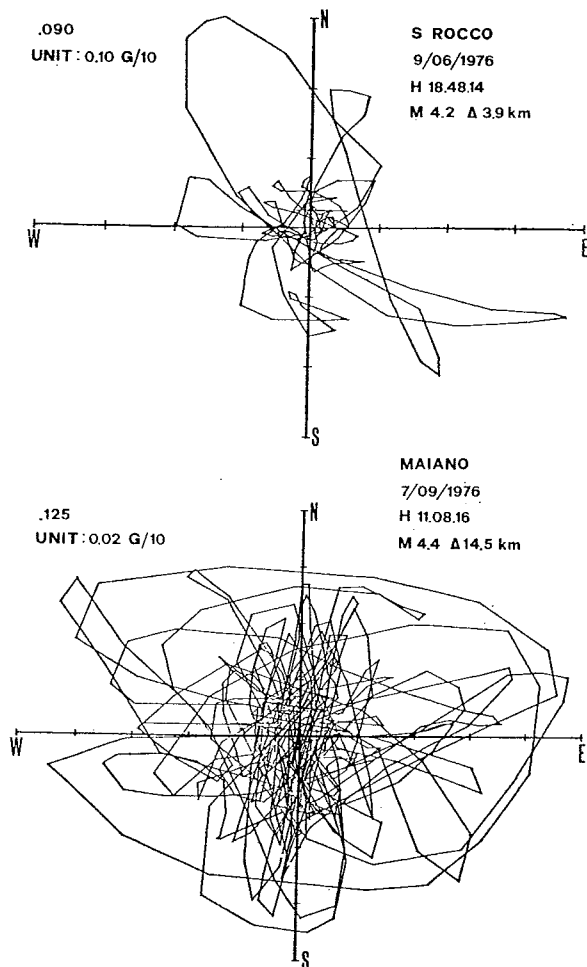


Fig. 1. - Tracce dei vettori accelerazione rotanti nel piano orizzontale a S. Rocco (su roccia a brevissima distanza) ed a Maiano (alluvioni profonde, distanza maggiore).  
Trace of the horizontal acceleration rotating vectors at S. Rocco (rock, very short distance) and at Maiano (deep alluvium, longer distance).

Dalla polarizzazione dei vettori rotanti si potrebbero trarre informazioni sui meccanismi focali delle scosse; è stato notato che « nell'ipotesi che i picchi di accelerazione provengano da parti della faglia considerabili come puntiformi, le tracce del moto potrebbero venire utilizzate per individuare i settori della faglia dai quali sono stati irradiati » [BOORE, ZOBACK, 1974].

Bisogna tuttavia osservare che l'analisi degli accelerogrammi, che interessa bande di frequenza piuttosto alte, può essere fuorviata dal fatto che vi può essere interferenza tra le forme geometriche, le eterogeneità fisiche del suolo e del sottosuolo e le vibrazioni in arrivo, con lunghezze d'onda più corte. Si ritiene perciò di dover limitare l'applicazione di queste composizioni vettoriali soprattutto all'individuazione della accelerazione massima, giudicando più adatte all'investigazione delle caratteristiche focali le polarizzazioni delle velocità o degli spostamenti, in ragione dei campi di frequenze più basse, che le caratterizzano.

## 3. Situazioni stratigrafiche caratteristiche dei siti

La tabella 1 riassume le caratteristiche dei siti ove erano localizzate le stazioni dell'ENEL, del CNEN, dell'IZIIS-ZRM jugoslavo e della CEA/DSN francese.

È risultato che i siti caratterizzati dalla presenza di suoli duri (conglomerati, marne etc.) potevano venire inseriti tra i siti rocciosi, mentre è stato verificato che il valore registrato nel sito dell'ENEL di Tolmezzo-Ambiesta, in occasione della scossa più forte, si inseriva meglio nella categoria delle alluvioni superficiali.

Questo sito presenta un affioramento di calcari dolomitici dalle caratteristiche meccaniche estremamente scadenti fino a 20 m di profondità, con una velocità di propagazione delle onde P di 800 m/sec [MUZZI, VALLINI, 1977], tanto da essere assimilabili a quelle di un deposito ghiaioso non coesivo.

## 4. I risultati ottenuti

In America [SEED *et al.*, 1976] è stato verificato che, per una stessa scossa, a distanze inferiori ai 40 km dagli epicentri le accelerazioni registrate su roccia sono di poco superiori a quelle registrate su alluvioni profonde, mentre accade il contrario per distanze superiori ai 40 km. A queste distanze dagli epicentri, inoltre, i terreni meno compatti amplificano sensibilmente la velocità del moto.

TABELLA 1  
 QUADRO RIASSUNTIVO DELLE STAZIONI CONSIDERATE

LOCALITA	ENTE	SITUAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
Roccia		
Asiago	ENEL	Calcere giurassico molto fratturato finemente stratificato.
Cornino	CEA/DSN	Calcere cretatico fessurato e stratificato.
Cortina	ENEL	Dolomia triassica massiccia fessurata.
Feltre	ENEL	Sottili stratificazioni di marna calcarea e calcare marnoso variamente fessurati.
Malcesine	ENEL	Conglomerati alluvionali interglaciali abbastanza cementati (40 m) soprastanti calcare giurassico stratificato.
Monselice	ENEL	Sottili stratificazioni di marna calcarea e calcare marnoso variamente fessurati.
Robic	IZIIS	Calcere e dolomia triassica fessurati
S Rocco	CNEN	Calcere cretatico fessurato e stratificato.
Alluvione $\leq$ 20 m		
Barcis	ENEL	Conoide (4 m) soprastante calcare cretatico molto fratturato e laminato.
Breginj	IZIIS	Morena poco cementata (alcuni metri).
Forgaria	CNEN	Depositi alluvionali recenti (ghiaia, sabbia e limo) (10 m) soprastanti marne e arenarie mioceniche.
Kobarid	IZIIS	Depositi alluvionali fluvio-glaciali würmiani (ghiaia, sabbia, limo) superficiali.
Tarcento	ENEL	Depositi alluvionali recenti (10 m) soprastanti marne e arenarie.
Tolmezzo	ENEL	Calcere e dolomia triassica a fratturazione complessa ( $V_p = 800$ m/sec.).
Tregnano	ENEL	Tufo rimaneggiato con terra rossa e ciottoli (3 m) soprastante marna e calcare cretatico.
Alluvione $>$ 20 m		
Buia	ENEL	Depositi alluvionali recenti e piuttosto profondi (ghiaia, sabbia, limo).
Castelfranco V.	ENEL	Depositi alluvionali fluvio-glaciali würmiani (ghiaie) (50-60 m) soprastanti sedimenti sab-bioso-limosi quaternari.
Codroipo	ENEL	Depositi alluvionali fluvio-glaciali würmiani (ghiaie) (50-60 m) soprastanti sedimenti sab-bioso-limosi quaternari.
Conegliano V.	ENEL	Depositi alluvionali fluvio-glaciali würmiani (ghiaie) (35 m) soprastanti conglomerati plic-cenici con alternanze marnoso-argillose.
Ljubljana	ZRM	Ghiaie molto profonde e consolidate.
Maiano	CNEN	Depositi alluvionali recenti e piuttosto profondi (ghiaia, sabbia, limo).
Molinis	CEA/DSN	Depositi alluvionali fluvio-glaciali profondi soprastanti marne e arenarie eoceniche.

Le differenze riscontrate dagli Autori citati nelle amplificazioni dell'accelerazione non sono molto grandi e sono il risultato dell'analisi di un gran numero di dati relativi a terremoti dell'anello circum-pacifico, registrati a distanze generalmente superiori ai 15-20 km.

#### 4.1. Attenuazione dell'accelerazione

Nel caso del Friuli, le regressioni condotte su dati relativi a scosse con magnitudo  $M$  tra 5.9 e 6.4 hanno fornito questi risultati (si vedano anche le figure 2, 3, 4):

Roccia	: $\log a = -0.77 - 0.63 \log d$	(14 dati)	4.1
Alluvione $\leq$ 20 m:	$\log a = 1.03 - 1.22 \log d$	(12 dati)	4.2
Alluvione $>$ 20 m:	$\log a = 0.06 - 0.79 \log d$	(13 dati)	4.3

Le leggi 4.1 e 4.3 sono in lieve disaccordo con la casistica americana già nota e precedentemente descritta ed inoltre non si può escludere che l'analisi di un maggior numero di dati, purtroppo non disponibili, avrebbe influito sull'andamento delle regressioni, modificandole seppur di poco.

Perciò è stato deciso di adottare un'unica legge rappresentativa per le rocce e le alluvioni di profondità superiore ai 20 metri, tanto più che agli estremi delle distanze considerate gli scostamenti delle due leggi sono esigui, essendo contenuti nelle singole ampiezze dei rispettivi scarti quadratici medi.

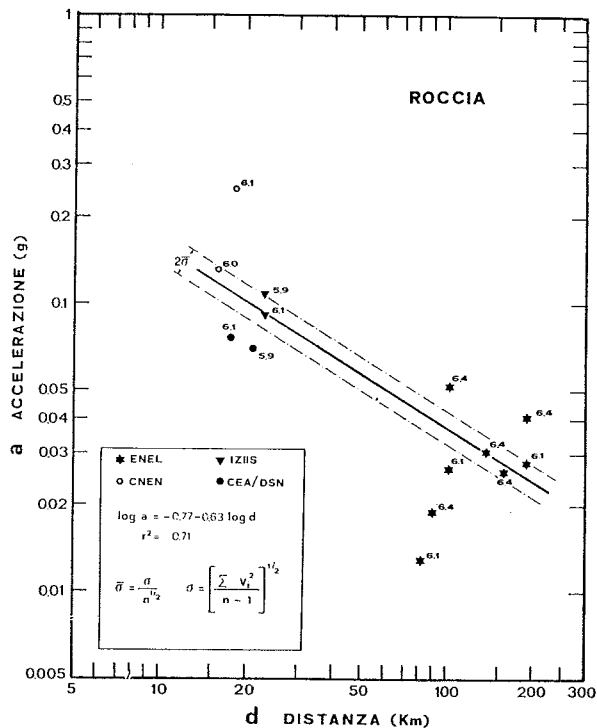


Fig. 2.

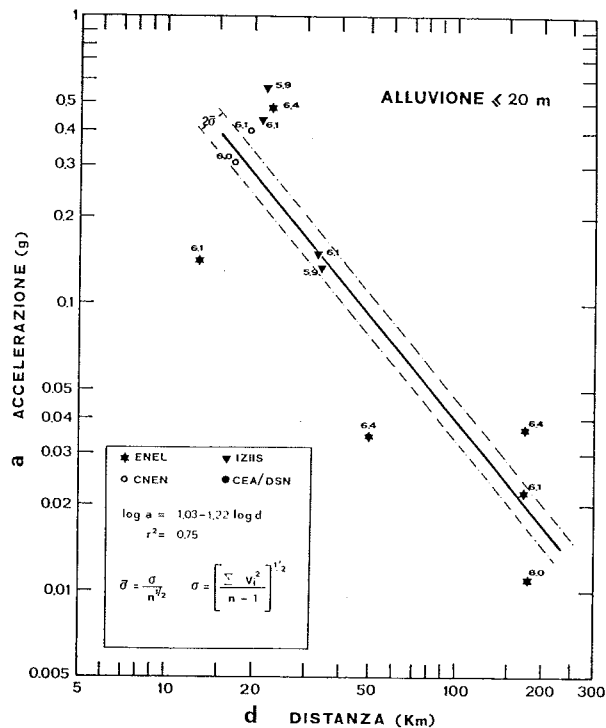


Fig. 4.

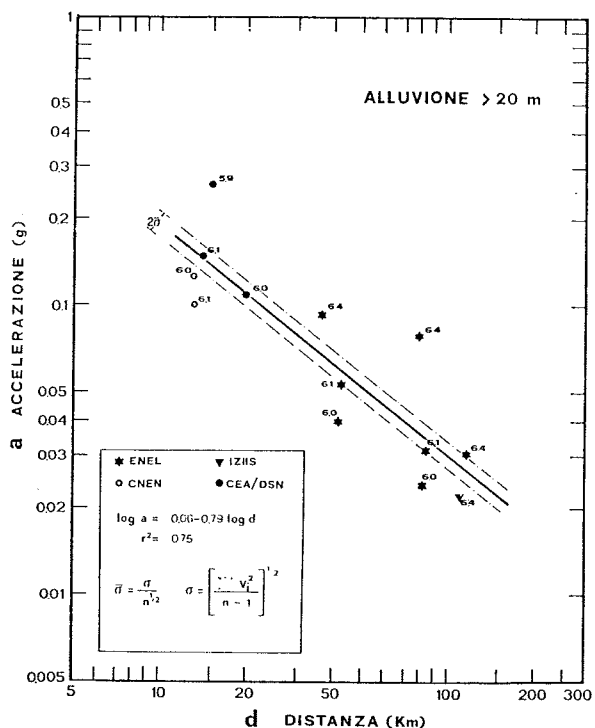


Fig. 3.

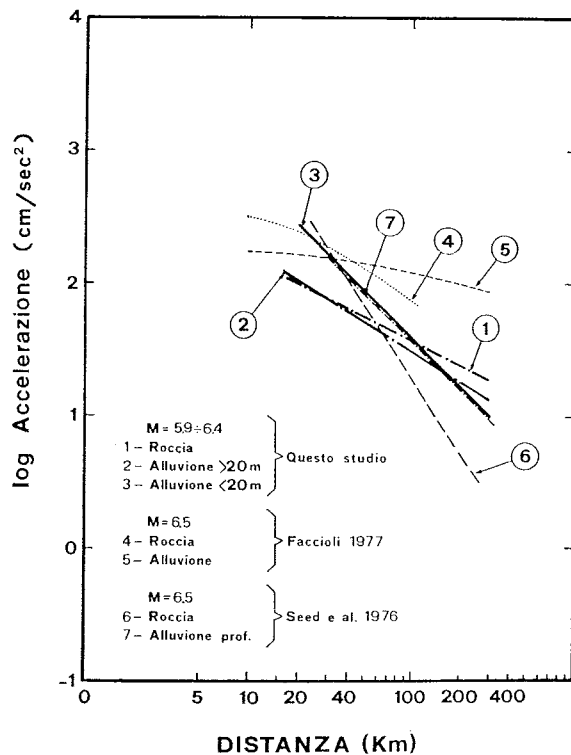


Fig. 5.

La nuova legge è pertanto:  
Roccia e alluvioni > 20 m:

$$\log a = -0.06 - 0.71 \log d \quad (27 \text{ dati}) \quad 4.4$$

La figura 5 illustra i risultati ottenuti per il Friuli insieme ad alcuni di quelli disponibili

per varie situazioni tipiche, soprattutto dell'Occidente degli USA e per l'anello circum-pacifico. È evidente quanto siano importanti, dal punto di vista della formulazione di leggi di attenuazione locali, le strutture geologiche e tettoniche delle varie zone e perciò i diversi

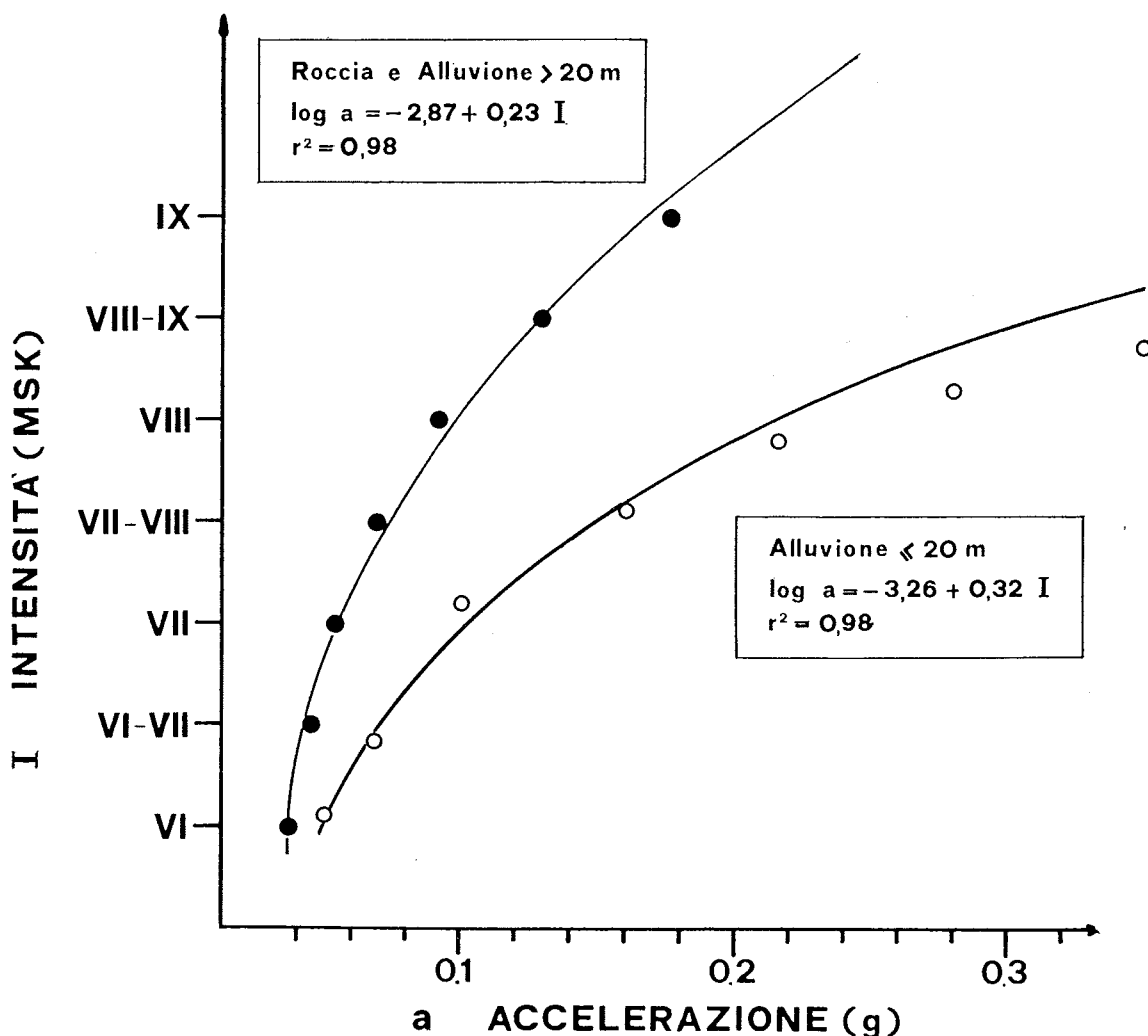


Fig. 6. -

meccanismi di emissione dell'energia dalle sorgenti, anche in rapporto alla natura dei siti.

In particolare è evidente l'influenza della profondità degli ipocentri della zona del Pacifico; al contrario gli ipocentri del Friuli sono stati molto superficiali e non ci sono state amplificazione rilevanti a distanze forti, sia per le generalmente buone qualità geotecniche dei terreni dei siti e sia perché i meccanismi focali non hanno provocato l'emissione di onde di superficie di particolare intensità.

#### 4.2. Accelerazioni - Intensità Macrosismiche

È noto che quasi tutte le informazioni riguardanti i diversi effetti distruttivi dei terremoti del passato vengono espressi in gradi di scale semiempiriche di riferimento, che però non forniscono una classificazione utilizzabile direttamente a fini applicativi. Se le informazioni macrosismiche non sono basate su una

attenta valutazione dei danni subiti dalle varie tipologie edilizie, lo stabilire delle relazioni tra parametri massimi del moto ed intensità può essere molto difficile.

Nel caso del Friuli ci si è basati sulle attenuazioni delle intensità macrosismiche (scala Medvedev, Sponheuer, Karnik) per il terremoto del 6 maggio 1976 lette dalla carta delle isosiste prodotta da GIORGETTI [1976].

La figura 6 riassume i risultati ottenuti. Le equazioni sono:

Roccia e alluvioni > 20 m:

$$\log a = -2.87 + 0.23 I_{\text{MSK}} \quad 4.2.1$$

$$r^2 = 0.98$$

Alluvioni ≤ 20 m:

$$\log a = -3.26 + 0.32 I_{\text{MSK}} \quad 4.2.2$$

$$r^2 = 0.98$$

dove  $r^2$  rappresenta il coefficiente di correlazione.

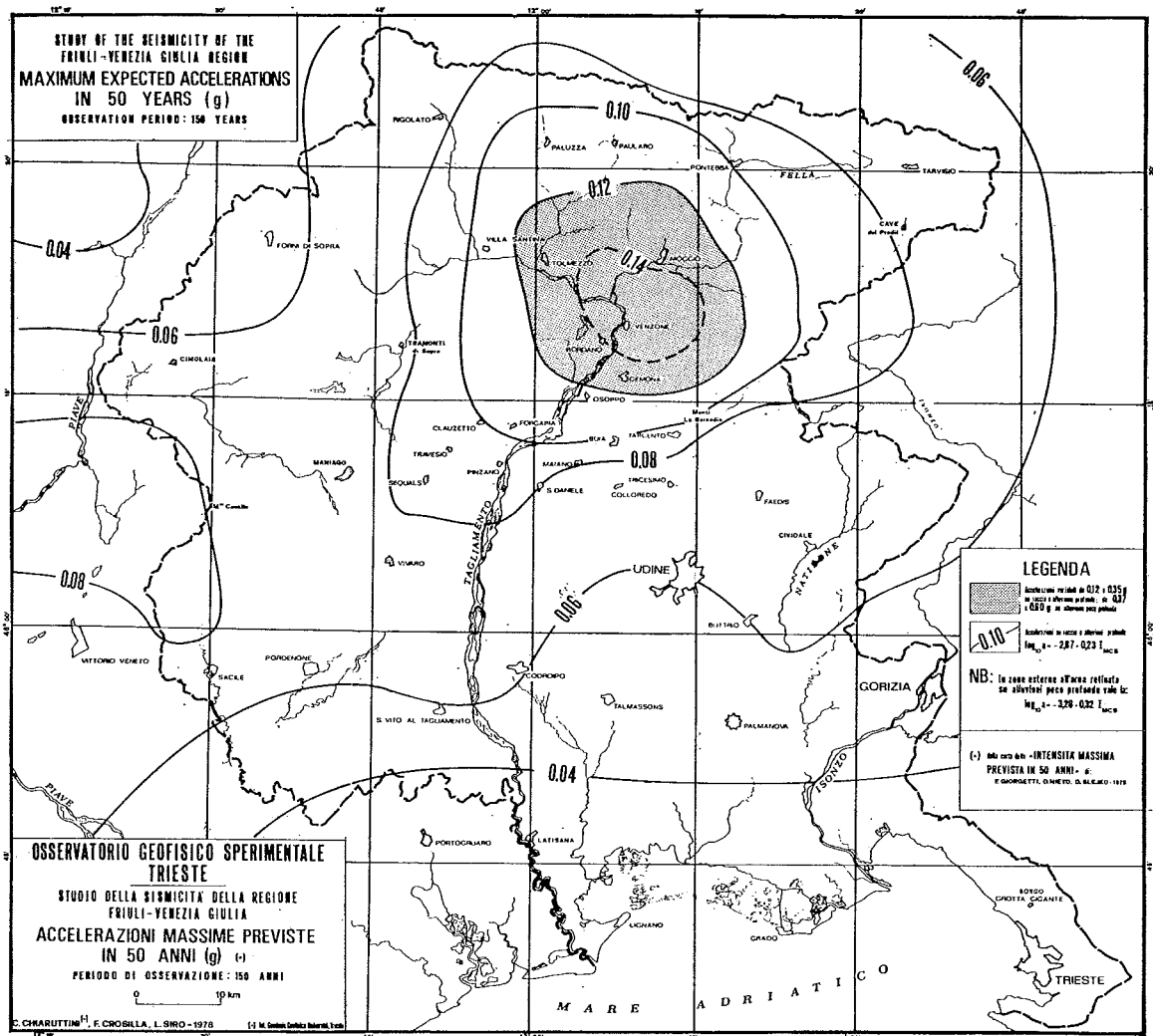


Fig. 7. - Accelerazioni massime previste in 50 anni; periodo di osservazione: 150 anni.  
 Maximum expected accelerations in 50 years; observation period: 150 years.

### 4.3. Carte delle accelerazioni massime previste

Le relazioni 4.2.1. e 4.2.2. sono state utilizzate, come si è già detto, per trasformare le carte di macrozonazione prodotte recentemente per la regione Friuli-Venezia Giulia in termini di intensità macrosismiche, in carte delle accelerazioni orizzontali massime al suolo (figg. 7, 8, 9).

Vi si possono leggere, in ogni punto della regione, i valori statisticamente attesi di questo parametro nei prossimi 50 anni (fig. 7), 100 anni (fig. 8) e 150 anni (fig. 9).

La scelta di un periodo di osservazione più lungo potrebbe forse modificare in qualche dettaglio la distribuzione del rischio nel Cividalese e nel Cansiglio. Si tenga però presente che, dal punto di vista della adozione di una normativa, queste eventuali variazioni appaiono di secondaria importanza (1).

(1) Si veda, in proposito, l'aggiornamento in corso di stampa riportato in calce all'articolo.

Le curve a tratto continuo rappresentate nelle carte delle figure 7, 8, 9 indicano le accelerazioni attese su rocce ed alluvioni profonde. Per motivi grafici non sono invece rappresentate le linee di uguale accelerazione su suoli alluvionali poco profondi, che in genere sono presenti lungo strette fasce pedecollinari, non cartografabili in questa scala.

In presenza di queste caratteristiche stratigrafiche dei siti, le massime accelerazioni fuori della zona retinata vanno calcolate per mezzo della 4.2.2., citata nella legenda di ogni carta, partendo dalla intensità macrosismica attesa localmente.

All'interno della zona retinata le accelerazioni probabili presentano il range di valori indicato in legenda, sia per i siti rocciosi e con alluvioni profonde, sia per quelli con alluvioni superficiali; all'interno di quest'area le attenuazioni calcolate, ed indicate in figura, hanno una scarsa attendibilità.

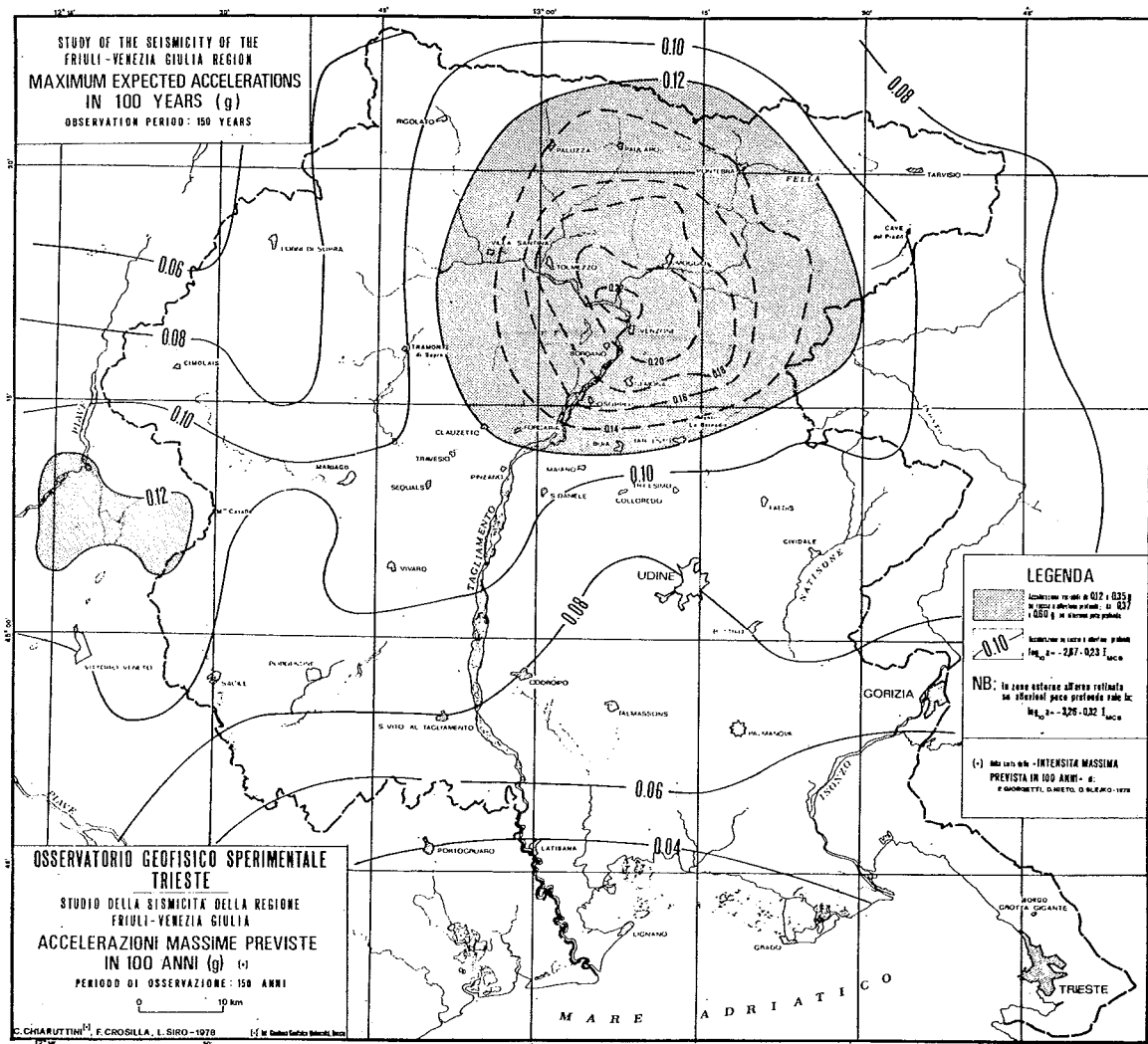


Fig. 8. - Accelerazioni massime previste in 100 anni; periodo di osservazione 150 anni.  
 Maximum expected accelerations in 100 years; observation period: 150 years.

#### 4.3.1. Considerazioni applicative

Le leggi di attenuazione di questo tipo presentano sempre delle dispersioni elevate. Mentre a forti distanze dagli epicentri l'incertezza che ne deriva nella determinazione dell'accelerazione massima ha un valore relativo, perché rientra nelle riserve di resistenza che l'edificio antisismico può opporre al moto, in ragione sia dei coefficienti di sicurezza nei confronti dello snervamento dei materiali che della loro duttilità, non altrettanto si può dire nella zona più vicina agli epicentri. In quest'area il problema è più delicato perché le escursioni delle accelerazioni prevedibili sono molto più estese.

Dal punto di vista di una normativa, sembra opportuno porre attenzione al fenomeno e valutare il rischio nell'area retinata non solo basandosi sull'andamento teorico delle attenuazioni

ma anche sulle accelerazioni effettivamente manifestatesi.

Anche se, per gli stessi motivi precedentemente citati e soprattutto sfruttando la resistenza in campo duttile, edifici progettati, poniamo, per un valore coerente con quello previsto dalla I categoria della normativa vigente possono resistere fino al limite del collasso ad accelerazioni molto più elevate, vale forse la pena di cercare di minimizzare i danni, penalizzando un po' di più la progettazione nelle aree epicentrali.

In presenza di suoli molto molli, potrà viceversa essere utile progettare soprattutto in funzione dei forti cedimenti che questi terreni, incapaci di trasmettere forti sollecitazioni dinamiche di taglio, potrebbero manifestare nelle aree più colpite; si tratta comunque di situazioni piuttosto rare in Friuli.



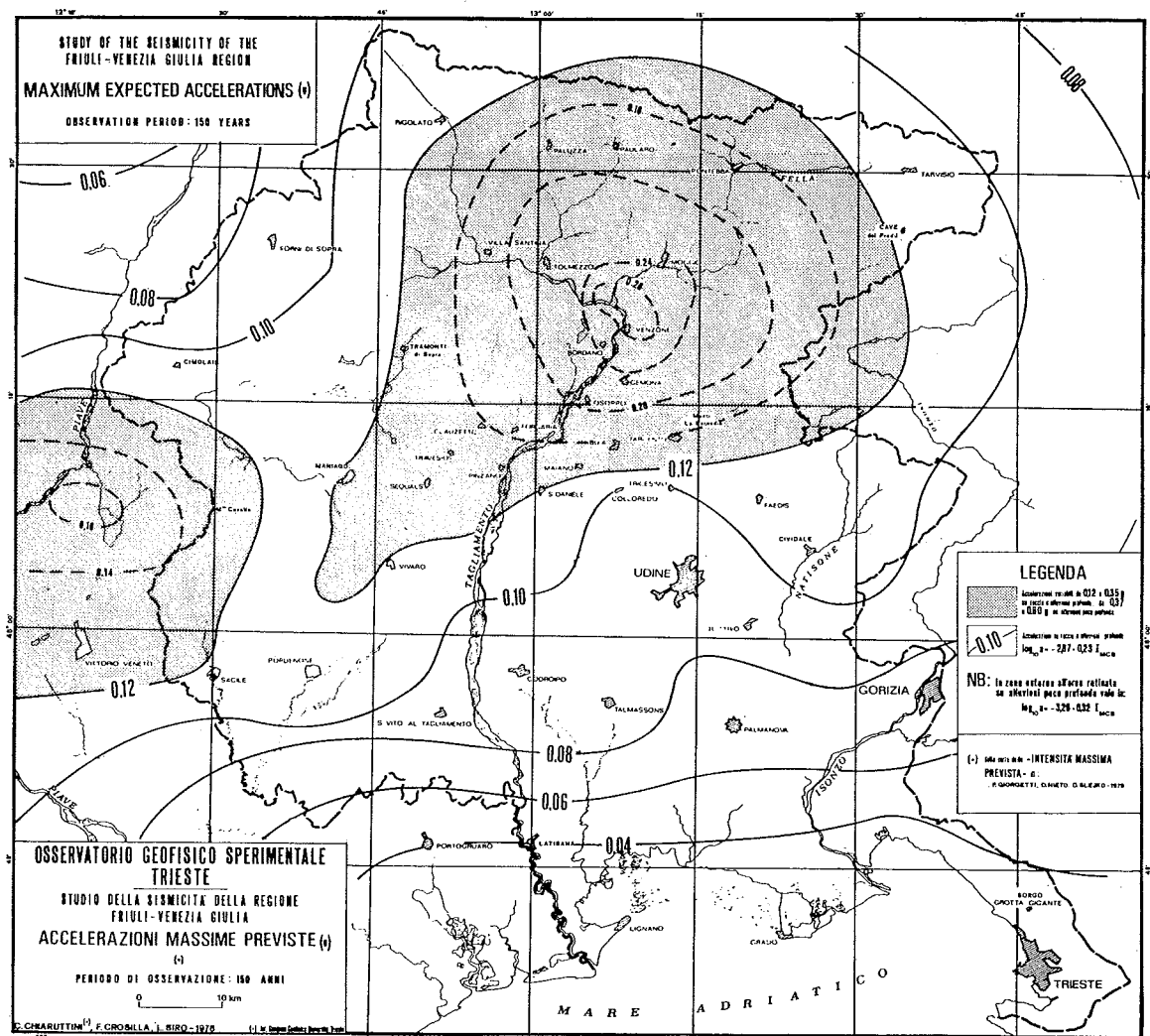


Fig. 9. - Accelerazioni massime previste sulla base di un periodo di osservazione di 150 anni.  
*Maximum expected accelerations; observation period: 150 years.*

### Conclusioni

Con questo lavoro si spera di aver fornito un contributo alla individuazione del rischio sismico nella regione Friuli - Venezia Giulia ed aver reso disponibili delle relazioni utili anche per l'analisi delle aree limitrofe.

Una macrozonazione ottimale dovrebbe forse individuare, zona per zona, i valori delle ordinate spettrali di risposta; ciò purtroppo non è ancora possibile in Italia per la carenza di registrazioni strong-motion sui vari tipi di suoli, nelle varie condizioni geotettoniche, né è pensabile che una macrozonazione di questo tipo possa venire realizzata in tempi brevi su base sperimentale.

Si tenga però presente che la maggior parte dei problemi riguardanti il dimensionamento di edifici « normali » si risolve in modo soddisfacente con la scelta di un adeguato spettro

di progetto. La sua ampiezza, indicata attualmente dalla normativa per una parte del Friuli (0.07 g) sembra insufficiente, del resto al pari dell'estensione dell'area considerata; si spera con questo lavoro di aver contribuito al loro adeguamento.

### Aggiornamento in corso di stampa

La scelta di un periodo di osservazione più lungo modifica sensibilmente il quadro della sismicità regionale, soprattutto per la presenza del terremoto di Villaco (25.1.1348, ore 15.45, intensità XI) e dei terremoti di Idra (26.3.1511, ore 14, intensità X) e di Cividale (26.3.1511, ore 19.30, intensità X-XI) discriminati recentemente da V. Ribarič. Questi eventi non si sono più ripetuti in seguito ed anzi, durante gli ultimi 150 anni, la sismicità ha dimostrato di essersi accentrata soprattutto nella zona del Friuli cen-

tro-settentrionale. Una carta delle massime accelerazioni ottenute estrapolando la relazione 4.2.1 alle intensità pertinenti ad un periodo di osservazione di 650 anni presenterebbe, su roccia, accelerazioni massime attese dell'ordine di 0.10 g per tutta la regione, con valori superiori a 0.15 g già a sud di Pordenone e Palmanova e con due massimi superiori a 0.30 g (zona di Venzone - Bovio Carnia e zona ad est di Cave del Prédil, al confine fra l'estremità nord-orientale della regione e l'alta Slovenia).

Per consuetudine internazionale è d'uso progettare edifici in modo che resistano in campo elastico al massimo terremoto previsto in 100-150 anni e resistano, anche se solo in campo duttile, a terremoti più forti. Inoltre il periodo di osservazione di 150 anni rende conto della sismicità attualmente in atto, oltre a fornire dati di maggiore attendibilità.

#### RINGRAZIAMENTI

Essi sono dovuti al Prof. F. Giorgetti per i preziosi consigli e l'incoraggiamento costante nonché, oltre a lui stesso, anche al dott. D. Slejko ed al dott. D. Nieto per aver rese disponibili le carte della intensità massima prevista ed aver consentito l'uso del programma da loro preparato.

#### SUMMARY

##### Maximum expected accelerations for the Friuli-Venezia Giulia region

The distribution of the seismic risk is the topic of a research cooperation between the 2.4.3 unit of the Italian C.N.R. directed by Prof. F. Giorgetti, in the frame of the « Geodynamics Project » and the Institute of Geodesy and Geophysics of the University of Trieste, directed by Prof. Maria Bozzi Zadro.

The purpose of this study is to show the maximum expected accelerations in Friuli on the basis of: 1) the observation of the last period (150 years) of the seismic history of this area [GIORGETTI, NIETO, SLEJKO, 1978], 2) the analysis of strong-motion data of the 1976 events, 3) the general geotechnical features of the soils encountered in the region.

The maps presented here could be a contribution to the definition of a new code for antiseismic design in the Friuli area.

The attenuation laws and the relationships between horizontal accelerations and macroseismic intensities could be a contribution to the assessment of the seismic risk in the surroundings areas.

A research group of the « Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste » presented recently a series of macrozonation maps, in terms of maximum expected macroseismic intensities, at the V Meeting of the European Geophysical Society [GIORGETTI, NIETO, SLEJKO, 1978].

Their study is the result of the analysis of about 4.000 seismic events listed in the « Earthquake Catalogue for the Eastern Alps Region » [BERNARDIS *et al.*, 1978].

They indicated: 13 seismo-genetic areas, the attenuations of macroseismic intensities as derived from the distribution of isoseismal lines for historical earthquakes, the number of shocks for every range of intensities etc.

The maximum intensities in every point of the studied area in a certain period of time have been calculated, together with the return period of the highest macroseismic intensities.

The horizontal components of the acceleration have been composed in the plane thus obtaining the horizontal rotating vector. It has been seen that the true peak acceleration in the plane, which we call « maximized », can be significantly higher than the peak acceleration as given by the two components separately.

This is particularly the case for recordings at short epicentral distances; the main increment is 13.5% within 60-80 km from the source. Figure 1 shows some results of the composition of horizontal accelerations.

Table n. 1 summarizes the features of the sites where the ENEL-CNEN, IZIIS-ZRM and CEA-DSN station are located.

Stiff soils have been included in the group of rocky sites since their peak accelerations fit well in this group.

The site of Tolmezzo-Ambiesta (ENEL) has been introduced in the group of shallow alluvium because of the poor characteristics of the outcropping dolomitic limestone ( $V_p = 800$  m/s within the first twenty meters).

Figures n. 2, 3 and 4 show these laws of attenuation:

Rock	$\log a = -0.77 - 0.63 \log d$	(14 data)	4.1
Alluvium $\leq 20$ m	$\log a = 1.03 - 1.22 \log d$	(12 data)	4.2
Alluvium $> 20$ m	$\log a = 0.06 - 0.79 \log d$	(13 data)	4.3

Note that equation 4.2 yields the highest accelerations.

Sites on rock or deep alluvium show, in Friuli, very similar attenuations; this can be due to the good geotechnical qualities of the alluvial deposits of Friuli.

A unique law of attenuation was then computed for sites on rock and deep alluvium since the mean square errors of the two regressions in figures 2 and 3 do not allow to discriminate between them in their distance range of applicability.

This new law is:

sites on rock or deep alluvium:

$$\log a = -0.06 - 0.71 \log d \quad (27 \text{ data}) \quad 4.4$$

The analytical comparison between the relationships 4.2 and 4.4 and the attenuations of macroseismic intensity shown by the isoseismal map of the May 6, 1976 earthquake, led to these intensity-acceleration relationships, shown in fig.6:

rock and deep alluvium:

$$\log a = -2.87 + 0.23 I_{MSK} \quad 4.2.1$$

shallow alluvium:

$$\log a = -3.26 + 0.32 I_{MSK} \quad 4.2.2$$

Figure n. 5 shows the laws 4.1, 4.2 and 4.3 compared with some of the laws obtained for sites of the Circum-Pacific belt.

The great importance to define local laws of attenuation which depend on the geo-tectonic features of the region, on the focal mechanisms and on the characteristics of the sites is evident.

From literature and experience it is known that the peak acceleration exhibits large variations inside the epicentral area, especially because of the dimensions of the seismic source and the local nature of sites.

This is the reason of the presence on the maps of fig. 7, 8 and 9 of the dotted zones. There the laws of attenuation are considered to be only theoretically valid (dashed lines). Acceleration ranging between 0.12 and 0.35 g or between 0.37 and 0.60 g are expected in that zone, depending on the

presence of sites on rock and deep alluvium or on shallow alluvium.

Outside the epicentral areas, the lines indicating equal accelerations refer to rock and deep alluvium; accelerations on shallow alluvium have not been graphically delineated but they can be easily computed by using relationship 4.2.2.

#### Updating remarks.

A longer period of observation significantly modifies the regional seismicity; this is the consequence of including the Villach earthquake (Gen. 25, 1348, h 15.45, intensity XI) and the events of Idrija (Mar. 26, 1511, h 14, intensity X) and of Cividale (Mar. 26, 1511, h 19.30, intensity X-XI) recently discriminated by V. Ribarič. So far these events did not repeat; on the contrary, during the last 150 years, the seismicity concentrated mainly in the North-central part of Friuli. If we extrapolated the relationship 4.2.1 to the intensities pertaining to an observation period of 650 years we would obtain that the expected peak acceleration exceeds 0.10 g all over the region and that values greater than 0.15 g are likely to occur even South of Pordenone and Palmanova. The maxima would be located at Venzone and East of Cave del Predil and they would exceed 0.30 g.

Commonly antiseismic buildings are designed to resist elastically the maximum shock expected in 100-150 years and not to collapse in case of larger shocks. An observation period of 150 years is also very appropriate to evaluate with good accuracy the current seismicity of the region.

#### BIBLIOGRAFIA

- BERNARDIS G., GIORGETTI F., NIETO D., SLEJKO D. (1978) - *Catalogue of Earthquakes of Eastern Alps*. Non ancora pubblicato.
- FACCIOLI E. (1977) - *Bases for a methodology of seismic microzonation*. Consultant's report to UNESCO, Mexico City.
- GIORGETTI F. (1976) - *Isoseismal map of the May 6, 1976 Friuli earthquake*. Boll. Geof. Teor. Appl. Vol. XIX, N. 72, 12; Spec. Issue Proc. Int. Meet. Friuli Earthqu. Udine 4-5/12/1976.
- GIORGETTI F., NIETO D., SLEJKO D. (1978) - *Study of the seismicity of the Friuli Venezia Giulia Region*. In corso di stampa su Tectonophysics.
- MOHRAZ B. (1976) - *Earthquake response spectra for different geological conditions*. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 66, N. 3.
- MUZZI F., VALLINI S. (1977) - *The Friuli 1976 Earthquake considered as a 'Near Source Earthquake'*. Presentation and discussion of the Surface Recordings. Spec. Meet. 1976 Friuli Earthq. Antiseis. Des. Nucl. Inst. Rome 11-13 Oct.
- SEED H. B., UGAS C., LYSMER J. (1976) - *Site-Dependent spectra for Earthquake-Resistant Design*. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 66, N. 1.
- SEED H. B., MURARKA R., LYSMER J., IDRIS I. M. (1976) - *Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source and local site conditions for moderately strong Earthquakes*. Bull. Seism. Soc. Am. vol. 66, N. 4.
- Commissione CNEN-ENEL per lo studio dei problemi connessi con la realizzazione di impianti nucleari. 1976-77 Uncorrected Accelerograms. Part. 1, 2, 3. Rome Italy.