

2.5 Procedura per la composizione e l'utilizzazione degli abachi per amplificazioni (livello 2)

2.5.1 OBIETTIVO

Definire procedure per la composizione e l'utilizzazione di abachi (per amplificazioni litostratigrafiche e per amplificazioni topografiche) che, sulla base di alcuni dati di ingresso quantitativi di semplice ed economica acquisizione, forniscano parametri che caratterizzino la risposta sismica locale in superficie per i casi di seguito specificati.

2.5.2 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI

2.5.2.1 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER AMPLIFICAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

La procedura, che segue un approccio di tipo quantitativo, fornisce una stima della risposta sismica locale in termini di fattori di amplificazione. La procedura è valida per le modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali e non tiene conto degli effetti topografici, degli effetti 2D e di eventuali aggravamenti del moto dovuti a deformazioni permanenti.

È raccomandato l'utilizzo degli abachi per un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico. Ogni strato è caratterizzato dallo spessore h , dalla densità ρ , dal modulo di taglio iniziale G_0 e da curve di decadimento del rapporto di smorzamento (D). Questi strati giacciono sul basamento sismico (bedrock).

Di grande ausilio sulla scelta di utilizzare o meno gli abachi, saranno gli elementi riportati sulla *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* prevista nel livello 1, e, in particolare, gli elementi della carta che fanno riferimento a:

- forme acclivi di superficie (per l'identificazioni di possibili effetti di amplificazione dovuti alla topografia);
- forme articolate del substrato geologico sepolto (per l'identificazione di possibili effetti di amplificazione 2D);
- successioni litostratigrafiche che prevedano terreni rigidi su terreni soffici (profilo di V_s con inversioni di velocità);
- eventuale presenza di aree soggette a instabilità (possibili aggravamenti delle amplificazioni).

Questi fattori potranno quindi orientare sull'eventuale necessità di ricorrere a modelli più complessi rispetto a quelli utilizzati per la formulazione degli abachi, usando metodi di calcolo appropriati.

In presenza di bacini sepolti, ovvero di forme concave del basamento sismico con riempimenti costituiti da terreni soffici, effetti bidimensionali possono giocare un ruolo dominante e quindi rendere irrealistiche le stime degli abachi. Per valutare in prima approssimazione la presenza di questo tipo di effetti, e quindi l'applicabilità degli abachi, è possibile utilizzare l'approccio semplificato proposto da Bard e Bouchon (1985) e i dati relativi alla morfologia sepolta e al contrasto di impedenza sismica atteso alla base dei sedimenti. Come suggerito nel lavoro citato, la valutazione può essere effettuata con la formula seguente:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65 / \sqrt{C_v - 1}$$

dove:

h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito)

l la sua semiampiezza

C_v il rapporto fra la velocità V_s nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle.

Se l'espressione precedente è verificata e se è forte lo smorzamento delle onde di superficie, si potrà stimare, al centro della valle, l'amplificazione con modelli 1D. Allontanandosi dal centro della valle e avvicinandosi ai fianchi, l'approssimazione fornita dal metodo 1D diventa meno soddisfacente.

Se l'espressione precedente non è verificata è necessario utilizzare un'analisi bidimensionale 2D e quindi di fatto passare a un livello di approfondimento superiore (livello 3).

La presenza di una inversione di velocità nel profilo delle V_s di una successione litostratigrafica si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $V_{s\text{ rig}}/V_{s\text{ sof}} > 2$, con la V_s dello strato più rigido maggiore di 500 m/s. In tali casi è opportuno passare a un livello di approfondimento superiore.

L'uso degli abachi è consentito comunque se l'inversione è dovuta a uno strato più rigido di spessore minore di $V_s/60$, dove V_s è la velocità media di tutta la copertura al di sopra del basamento sismico espressa in m/s.

In presenza di aree interessate da deformazioni permanenti, l'uso degli abachi per il calcolo delle amplificazioni locali è sconsigliato e si raccomanda di passare al livello di approfondimento superiore (livello 3).

2.5.2.2 LIMITI DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER AMPLIFICAZIONI TOPOGRAFICHE

In presenza di rilievi particolarmente acclivi, l'Eurocodice 8 indica nell'angolo formato dal pendio (α) e nella altezza del rilievo (H) gli elementi discriminanti per definire un fattore di amplificazione topografico. Sulla base delle indicazioni della norma europea, in prima approssimazione si può non tener conto della topografia, e quindi è possibile usare gli abachi per amplificazioni litostratigrafiche, se $\alpha < 15^\circ$ e $H < 30$ m.

In generale, l'effetto litologico prevale sull'effetto morfologico, se si prevede di avere i due effetti congiunti si predilige quello litologico. In seguito si definirà una metodologia che può essere applicata esclusivamente in presenza di un bedrock sismico con particolari caratteristiche topografiche.

2.5.3 CRITERI GENERALI PER LA COMPOSIZIONE DEGLI ABACHI PER EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI E TOPOGRAFICI (A CURA DELLA REGIONE)

2.5.3.1 EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

2.5.3.1.1 Dati di ingresso e definizione di modelli

Per la composizione degli abachi la Regione dovrà approntare:

- Input sismici

Gli input potranno essere accelerogrammi, sia sintetici che reali, oppure direttamente spettri di risposta o spettri di densità di potenza.

Il numero minimo di accelerogrammi consigliato da utilizzare per ciascun modello è 4 (NEHRP, 2003). Il numero di accelerogrammi dipenderà dalla variazione del livello di pericolosità sul territorio della Regione (macrozone sismiche).

Gli accelerogrammi sintetici saranno definiti in conformità agli studi di pericolosità sismica di base e, in particolare, si raccomanda di riferirsi a un livello di scuotimento caratterizzato da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_{rit} = 475$). Per particolari tipi di opere e/o verifiche si potranno scegliere periodi di ritorno diversi (ad es. 72, 975, 2475 anni). È consigliabile uno studio di disaggregazione della pericolosità di base per determinare le coppie magnitudo-distanza più significative in funzione del periodo di ritorno considerato (scheda tecnica 2.8).

Se si utilizzano gli accelerogrammi reali si raccomanda di selezionarli tenendo conto delle caratteristiche sismotettoniche della Regione e, in particolare, del tipo di sorgente (regimi compressivi, estensivi, trascorrenti), delle magnitudo e delle distanze degli eventi che maggiormente contribuiscono alla pericolosità regionale. È necessario scegliere sempre eventi registrati su roccia o, comunque, su terreno molto rigido.

Inoltre, per gli accelerogrammi reali, si consiglia di limitare il più possibile le alterazioni finalizzate a far sì che le singole registrazioni rispettino una forma spettrale assegnata, e a far sì che si ottenga la compatibilità con lo spettro di input come media del set di accelerogrammi. È accettabile un'alterazione ottenuta scalando entro il 20% tutti i punti dell'accelerogramma reale. A scopo conservativo si possono integrare gli accelerogrammi reali così scelti, con accelerogrammi sintetici, con forma spettrale e PGA assegnati.

Poiché gli accelerogrammi (sia sintetici, che reali) sono definiti sulla superficie, in funzione del codice di calcolo adottato, può essere necessario riportare il moto di superficie all'interfaccia fra basamento sismico-terreni di copertura, operando così una deconvoluzione per trasferire il segnale in profondità.

- Modelli litologici di riferimento, intendendo una litologia prevalente per i terreni di copertura e il basamento sismico.
Si definiranno una serie di modelli litologici, alcuni generali, altri specifici di situazioni locali (regionali) importanti e rappresentative, con profondità variabile del basamento sismico, almeno fino a una profondità di 50 metri.
- Curve di decadimento della rigidezza e curve di incremento dello smorzamento.
Queste curve saranno associate alle litologie prevalenti di copertura. Generalmente curve di decadimento della rigidezza e curve di incremento dei fattori dello smorzamento sono selezionate sulla base di relazioni note in letteratura (Seed *et al.*, 1986; Vucetic e Dobry, 1991; Rollins *et al.*, 1998; Naso *et al.* 2005; Regione Lombardia, 2006). Specifiche prove di laboratorio sono consigliate, quando le curve di letteratura sono giudicate inadeguate per i tipi di terreni considerati nelle simulazioni numeriche.
- Profili di V_s corrispondenti a differenti V_s medie.
Questi profili saranno associati ai modelli litologici di riferimento. Le V_s medie di questi profili dovranno coprire l'intervallo di velocità tra 100 a 750 m/s con passo a scelta di 50 o 100 m/s.
I profili di V_s dovranno essere generalmente 3: uno con velocità costante (V_s media) per tutto lo spessore dei terreni di copertura, due con gradienti costanti, ma diversi (entrambi questi profili dovranno però avere la stessa V_s media).

2.5.3.1.2 Simulazioni numeriche

Le simulazioni numeriche possono essere sviluppate con codici lineari equivalenti 1D o non lineari. Se la risposta sismica locale è fortemente non lineare (es. alti livelli di accelerazione e terreni molto soffici), è preferibile l'utilizzo di codici non lineari.

In queste simulazioni si dovrà tenere conto delle incertezze associate alla scelta dei fattori che contribuiscono alle stime della risposta sismica locale (input sismico, spessori dei terreni di copertura, curve di decadimento, profilo di V_s). A questo scopo è opportuno eseguire varie simulazioni combinando le diverse scelte possibili. Il risultato finale sarà costituito dai fattori di amplificazione caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 50% (valori mediani).

2.5.3.2 EFFETTI TOPOGRAFICI

2.5.3.2.1 Dati di ingresso e definizione di modelli

Profili topografici caratterizzati da diverse forme e caratteristiche geometriche.

2.5.3.2.2 Simulazioni numeriche

Le simulazioni numeriche possono essere sviluppate con codici elastici lineari almeno 2D.

In queste simulazioni si dovrà tenere conto delle incertezze associate alla scelta dei fattori che contribuiscono alle stime della risposta sismica locale (input sismico, diverse caratteristiche geometriche). A questo scopo verranno eseguite varie simulazioni combinando le diverse scelte possibili. Il risultato finale sarà costituito dai fattori di amplificazione caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 50% (valori mediani).

2.5.3.3 DETERMINAZIONE DEI FATTORI FA E FV PER GLI EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

2.5.3.3.1 Risultati degli abachi

I risultati degli abachi saranno costituiti da 2 fattori di amplificazione:

- **FA**, a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);
- **FV**, a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

I fattori **FA** e **FV** saranno calcolati a partire dai risultati delle analisi di amplificazione mediante la procedura descritta nei paragrafi successivi.

Si distinguono 2 casi in dipendenza della descrizione dell'input:

- spettro di input a probabilità uniforme fornito dalla Regione;
- accelerogrammi (sintetici e reali) di input.

2.5.3.3.2 Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da spettro a probabilità uniforme

- Si determina il periodo di massimo valore dello spettro di input (TA_i) e di quello di output (TA_o);
- Si calcolano il valori medi degli spettri di input ($SA_{m,i}$) e di output ($SA_{m,o}$) nell'intorno di TA_i e TA_o

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5 \cdot TA}^{1.5 \cdot TA} SA(T) dT$$

dove:

SA_m è il valore medio dello spettro e può essere $SA_{m,i}$ o $SA_{m,o}$

$SA(T)$ è lo spettro di risposta elastico in accelerazione pari a SA_i per l'input, SA_o per l'output

TA vale TA_i per l'input TA_o per l'output

- c. Si determinano i periodi (TV_i) e (TV_o) di massimo valore degli spettri di **pseudovelocità** così definiti:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

dove:

$SV(T)$ corrisponde rispettivamente a $SV_i(T)$ per l'input e $SV_o(T)$ per l'output

- d. Si calcolano i valori medi degli spettri ($SV_{m,i}$) e ($SV_{m,o}$) nell'intorno di TV_i e TV_o :

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8 * TV}^{1.2 * TV} SV(T) dT$$

dove:

SV_m è il valore medio dello spettro e può essere $SV_{m,i}$ o $SV_{m,o}$

TV può essere TV_i e TV_o rispettivamente per l'input e l'output.

L'intervallo di integrazione è ridotto rispetto a quello dell'accelerazione perché lo spettro di velocità ha, generalmente, un andamento più regolare.

- e. Il valore di FA è pari al rapporto $SA_{m,o} / SA_{m,i}$

- f. Il valore di FV è pari al rapporto $SV_{m,o} / SV_{m,i}$

2.5.3.3 Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da accelerogrammi (sintetici e reali)

- a. Si determinano gli spettri di risposta elastici degli accelerogrammi di input e di output.
- b. Ci si riconduce al caso precedente regolarizzando⁴¹ ciascuno spettro in modo da poter identificare per ciascuno di essi un unico valore massimo e quindi il periodo (TA) corrispondente.

Si segue la procedura esposta nel paragrafo 2.5.3.2, per gli spettri di input a probabilità uniforme a partire dal punto b), agendo sugli spettri regolarizzati.

2.5.4 CRITERI GENERALI PER L'UTILIZZO DEGLI ABACHI (A CURA DEL SOGGETTO REALIZZATORE DELLA MS)

2.5.4.1 DATI DI INGRESSO E MODALITÀ DI UTILIZZO DEGLI ABACHI PER GLI EFFETTI LITOSTRATIGRAFICI

La raccolta dei dati di ingresso per la scelta degli abachi sarà a cura del soggetto realizzatore dello studio della risposta sismica locale. Questi dati comprendono:

41 Poiché gli spettri di risposta di accelerogrammi sono in genere irregolari ci si riconduce a spettri in cui sia più chiaramente identificabile il periodo proprio in cui si verificano le massime ordinate.

- la macrozona di pericolosità sismica alla quale il sito appartiene; a ogni macrozona corrisponderà un input sismico diverso;
- la litologia prevalente nei terreni di copertura deducibile dai risultati del livello 1;
- la profondità del basamento sismico, ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s;
- l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media V_{sH} delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico. Questa sarà data da

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;

h_i è lo spessore (in metri) dell' i -mo degli n strati che costituiscono la copertura;

V_{si} è la velocità (in m/s) dell' i -mo strato.

In linea di principio, queste informazioni sono deducibili dal profilo di velocità delle onde di taglio stimato sperimentalmente. Nei casi in cui il profilo di velocità sperimentale non permetta di determinare la posizione del basamento sismico (es. le velocità misurate non superano 800 m/s) è necessario ricorrere ad indicazioni indirette.

Queste possono essere ottenute combinando i risultati del livello 1 (profondità del substrato geologico) e la misura del periodo proprio T_0 del sito della copertura sedimentaria (identificazione della profondità del contrasto di impedenza più importante). Infatti si ha che

$$T_0 = \frac{4h_a}{V_a}$$

dove:

h_a è la profondità del substrato geologico⁴²;

V_a è la velocità media delle onde S fino a quest'ultima interfaccia e quindi può essere assunta come misura di V_{sH} , ovviamente con minore attendibilità rispetto alle misure dirette.

Avendo a disposizione una stima di massima di V_a è invece possibile risalire ad h_a .

L'uso di V_a e h_a al posto di V_{sH} ed H rispettivamente, può essere preso in considerazione se sono rispettate entrambe le seguenti condizioni, approssimativamente valutabili sulla base della conoscenza della litostratigrafia e dei dati geotecnici dei depositi e del bedrock:

- il contrasto di velocità in h_a è rilevante (orientativamente maggiore di 2);
- il terreno al di sotto di h_a è abbastanza rigido (orientativamente la velocità V_s al di sotto di h_a è almeno pari a 600 m/s; se tale velocità è compresa tra 500 e 600 m/s si possono utilizzare gli abachi, ma il risultato deve essere maggiorato del 10%).

42 Occorre tener conto che misure effettuate dalla superficie potrebbero identificare un orizzonte di riflessione, che non è il bedrock sismico, ma un contrasto di impedenza.

In sintesi, l'utilizzatore entrerà nelle tabelle degli abachi per le amplificazioni litostratigrafiche utilizzando i dati sopra descritti, ossia conoscendo:

- la macrozona di pericolosità sismica;
- la litologia prevalente;
- lo spessore dei terreni di copertura H ;
- la V_{sH} media dei terreni di copertura.

2.5.4.2 DATI DI INGRESSO E MODALITÀ DI UTILIZZAZIONE DEGLI ABACHI PER GLI EFFETTI TOPOGRAFICI

Per quanto riguarda gli effetti puramente topografici (creste e scarpate in presenza di bedrock geofisico) e nel caso in cui si abbiano $H \geq 10$ m ed $\alpha > 10^\circ$, i dati di ingresso e per l'utilizzazione degli abachi, da parte del soggetto realizzatore della MS, sono:

- per le creste (sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano h maggiore o uguale ad un terzo di H ; Figura 2.5-1):
 - larghezza alla base del rilievo L ;
 - larghezza in cresta del rilievo l ;
 - dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti.
- per le scarpate (sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano β inferiore o uguale ad un quinto di α e h minore ad un terzo di H ; Figura 2.5-2):
 - dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h ;
 - inclinazione (α) del fronte principale;
 - inclinazione (β) del fronte superiore.

2.5.4.3 RICOSTRUZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO IN SUPERFICIE PER AMPLIFICAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

Gli abachi forniscono 2 fattori di amplificazione FA e FV (come descritto nel paragrafo 2.5.3) e con questi fattori di amplificazione sarà possibile ricostruire lo spettro elastico in superficie, partendo da:

- spettro di input a probabilità uniforme forniti dalla Regione;
- spettro di norma;
- spettro rappresentativo di un set di accelerogrammi.

La procedura porta ad individuare uno spettro in superficie con forma standard costituita da un ramo ad accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, ed un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e quindi ha pseudovelocità costante.

Per ciascuno dei casi sopra elencati si specifica la procedura da seguire nei paragrafi seguenti.

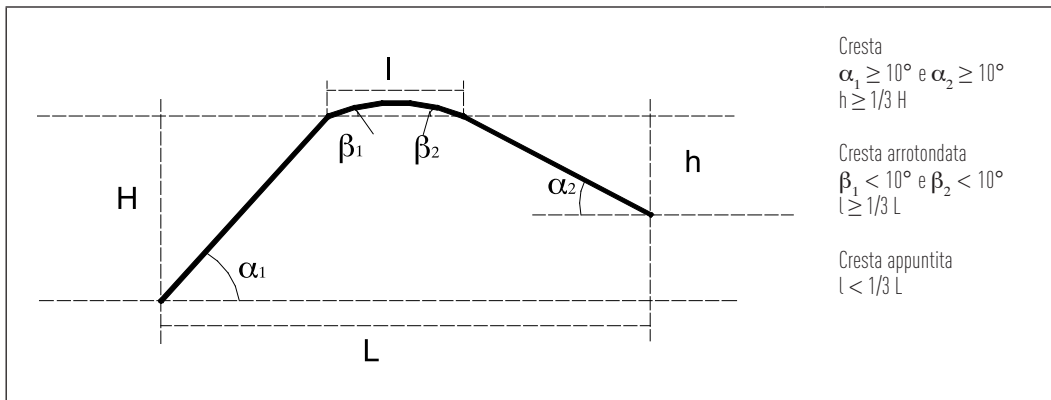


Figura 2.5-1 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento.

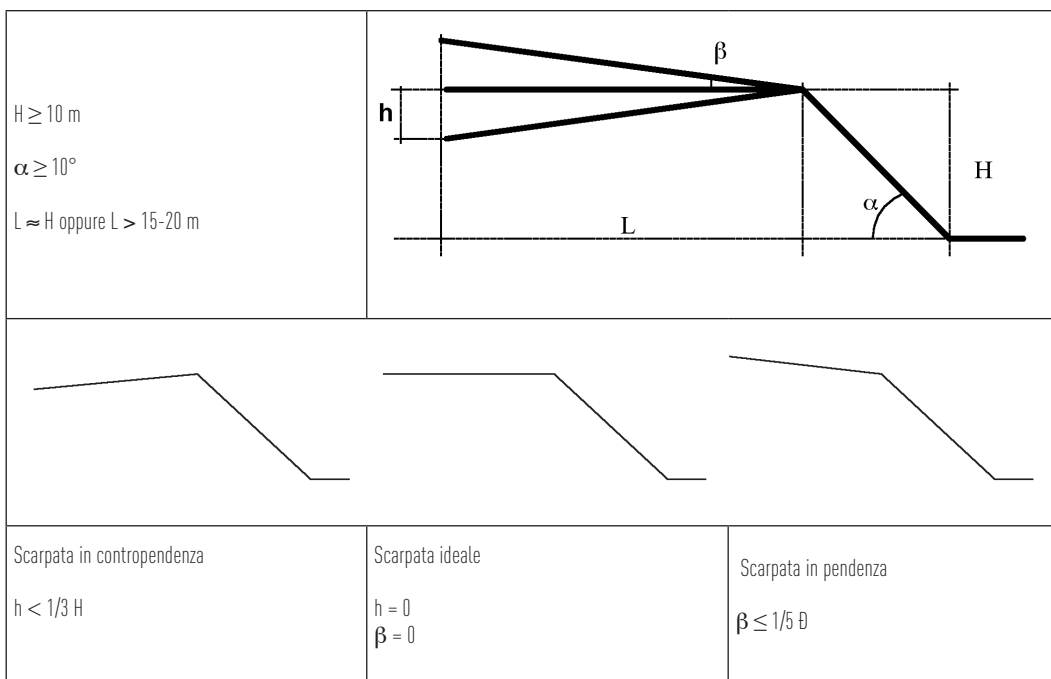


Figura 2.5-2 – Schemi di rifernto per la scarpata e criteri di riconoscimento.

2.5.4.3.1 Spettro di input a probabilità uniforme

I passi procedurali sono:

- a. Si determina il periodo proprio per il quale è massimo il valore dello spettro di input (TA_i), poiché l'input è definito su roccia, normalmente questo valore è compreso fra 0.1 e 0.3 secondi;
- b. Si calcola il valore medio dello spettro ($SA_{m,i}$) nell'intorno di TA_i :

$$SA_{m,i} = \frac{1}{TA_i} \int_{0.5 \cdot TA_i}^{1.5 \cdot TA_i} SA_i(T) dT$$

dove:

SA_i è lo spettro di input (spettro di risposta elastico in accelerazione).

- c. Si determina lo spettro di pseudovelocità di input (SV_i) a partire da quello di accelerazione e quindi il periodo proprio (TV_i) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità

$$SV_i(T) = SA_i(T) * \frac{T}{2\pi}$$

Generalmente per l'input, TV_i è collocato nella zona di periodi compresa fra 0.6 e 1.4 secondi;

- d. Si calcola il valore medio dello spettro ($SV_{m,i}$) nell'intorno di TV_i :

$$SV_{m,i} = \frac{1}{0.4 * TV_i} \int_{0.8 * TV_i}^{1.2 * TV_i} SV_i(T) dT$$

dove:

SV_i è lo spettro di input (spettro di risposta elastico in velocità).

L'intervallo di integrazione è ridotto rispetto a quello dell'accelerazione perché questo spettro ha un andamento più regolare.

In sostanza lo spettro a probabilità uniforme viene involuppato da uno spettro standard avente il ramo ad accelerazione costante pari a $SA_{m,i}$ e il ramo a velocità costante paria $SV_{m,i}$.

- e. Dagli abachi si deducono i valori di FA e FV ;
- f. Si determina il periodo proprio in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro in superficie ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

- g. Si determina T_B come $1/3 * T_c$;
- h. Il ramo iniziale dello spettro fra $T = 0$ e $T = T_B$ si assume lineare con $SA(0) = SA_i(0) * FA$ ed $SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$;
- i. Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, fra T_B e T_c ha ordinate pari a $SA_{m,i} * FA$;
- j. Il ramo dello spettro a velocità costante ($T > T_c$) ha ordinate pari a $SA_{m,i} * FA * T_c / T$;
- k. Lo spettro ha l'espressione precedente fino a $T = T_D^{43}$.

43 Il valore del periodo proprio T_D in corrispondenza del quale cessa la validità del ramo a velocità costante è specificato nella norma e in generale è intorno ai 2 secondi.

2.5.4.3.2 Applicazione allo spettro di input della norma (suolo A)

Il valore di $SA_{m,i}$ di cui al caso precedente corrisponde al valore ad accelerazione costante di norma, il valore di $2\pi * SV_{m,i}$ corrisponde al valore dello spettro di norma per $T = 1s$, quindi è sufficiente seguire la procedura precedente dal punto f in poi.

2.5.4.3.3 Accelerogrammi (sintetici e reali) di input

- a. Si determina lo spettro di risposta elastico di ciascun accelerogramma di input;
- b. Si effettua la media degli spettri di cui in a.;
- c. Poiché gli spettri di risposta di accelerogrammi sono in genere irregolari ci si riconduce ai casi precedenti regolarizzando lo spettro di cui in b., in modo da poter identificare un unico valore massimo e quindi il periodo (T_A) corrispondente.

Seguire la procedura per gli spettri di input a probabilità uniforme dal punto b. nel paragrafo 2.5.4.3.1, agendo sullo spettro regolarizzato.

2.5.5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bard, P.Y. e Bouchon, M. (1985) - The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 75, N. 2, pp. 519-541.
- Naso, G., Petitta, M. e Scarascia Mugnozza G. (eds.) 2004 - *La Microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa*. Dipartimento della Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale. CD-Rom. Università di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra. CD-Rom, Roma.
- NEHRP, National Earthquake Hazards Reduction Program (2003) - *The 2003 NEHRP Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures*.
- Regione Lombardia (2006) - *Curve di decadimento di alcuni terreni della Lombardia*. <http://www.regione.lombardia.it>.
- Rollins, K. M., Evans, M. D., Diehl, N. B. e Daily, W. D. III (1998) - Shear Modulus and Damping Relationships for Gravels, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 124, N. 5, May, pp. 396-405.
- Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M. e Tokimatsu, K. (1986) - Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 112 (GT11), 1016-1032.
- Vucetic, M. e Dobry, R (1991) - Effects of the soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol. 117, N.1.

2.8 Procedura di stima della magnitudo attesa, per le analisi nelle zone suscettibili di instabilità

2.8.1 PREMESSA

Nelle verifiche di liquefazione (capitolo 2.7) ed in quelle di stabilità dei versanti (capitolo 2.6) si deve tener conto della magnitudo attesa. Nelle verifiche di liquefazione il valore di M determina:

- se sia possibile non effettuare la verifica (insieme ad altre condizioni);
- il valore del coefficiente MSF (Magnitude Scale Factor) che corregge il valore del rapporto fra CRR e CSR per determinare il valore attuale del fattore di sicurezza.

Nelle verifiche di stabilità dei versanti il valore di M e della distanza epicentrale (R) sono utilizzati in correlazioni empiriche, che definiscono il coefficiente sismico critico per pendii in terreno o il numero medio di crolli per sito per frane in roccia.

La ragione per la quale la magnitudo entra in gioco è che, tanto più è elevata, tanto maggiore è l'energia rilasciata e, quindi, la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza tali da produrre sovrappressioni neutre e fenomeni di liquefazione. Per le stesse ragioni, eventi di M elevata possono produrre impulsi in grado di conferire elevate energie cinetiche a parti di terreno o di rocce e quindi fenomeni di instabilità.

2.8.2 VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO

La magnitudo è una grandezza molto importante per la definizione della pericolosità sismica e quindi dell'azione sismica. È una grandezza che ha carattere aleatorio e come tale viene trattata negli studi di pericolosità. Analogo carattere dovrebbe quindi conservare quando utilizzata per la definizione a fini di progettazione o di studio di MS .

Un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle valutazioni, preferibilmente per le verifiche di liquefazione, per il sito o la microzona di interesse, è il seguente:

1. Si considera sempre la **zonazione sismogenetica (ZS9)** (Figura 2.8-1), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax}^{50} .
2. Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore di M_{wmax} (Tabella 2.8-1).
3. Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone (i) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_s = 1 + 3 \log(R_i)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.
4. Ai fini della verifica di stabilità dei versanti, qualora si utilizzi la relazione semiempirica di Romeo (2000) si utilizzano i valori più gravosi derivanti dall'applicazione di tutte le coppie M_i, R_i deducibili dalle zone sismogenetiche vicine al sito di interesse.

50 I dati forniti sono in termini di magnitudo momento M_w . Essi possono essere espressi anche in termini di altre scale di magnitudo utilizzando le correlazioni riportate in Gruppo di lavoro (2004). In particolare ciò va fatto per la verifica della distanza alla quale si può ritenere non presente il rischio di liquefazione, che è data in termini di M_s .

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Il secondo metodo che si propone ha l'obiettivo di consentire in qualunque sito la stima di una **coppia di riferimento magnitudo – distanza** (nel seguito M-R), da assumere preferibilmente per le valutazioni delle instabilità di versante.

Vengono utilizzati i risultati degli studi di pericolosità di base effettuati nell'ambito della definizione della mappa di riferimento nazionale da parte dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (Gruppo di lavoro, 2004), per pervenire alla determinazione di coppie di valori (M-R) caratteristici di ogni sito⁵¹.

L'informazione di partenza è costituita dalla zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone (Figura 2.8- 1), a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo⁵².

Fra i risultati forniti dallo studio condotto da INGV (Spallarossa e Barani, 2007) c'è anche la **disaggregazione (o deaggregazione)** della pericolosità sismica (Bazzurro e Cornell, 1999): un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M . Poiché le mappe di pericolosità sismica sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità ottenuti con diversi alberi logici, la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo un solo ramo dell'albero logico, al quale corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani. Il risultato è fornito per 9 periodi di ritorno (RP): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

È possibile ottenere i valori medi $\overline{M-R}$ e modali $(M^* - R^*)$ ⁵³ a seguito della disaggregazione dei valori di accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Spallarossa e Barani, 2007), o con altre probabilità di superamento in funzione degli altri scopi della valu-

51 Tali studi hanno fornito valori dei parametri di pericolosità per punti sul territorio distribuiti secondo una griglia regolare in termini di coordinate geografiche.

52 I dati forniti sono in termini di magnitudo momento M_w . Essi possono essere espressi anche in termini di altre scale di magnitudo utilizzando le correlazioni riportate dal Gruppo di lavoro (2004).

53 Il valore medio si ottiene come media pesata delle magnitudo, dove il peso di ciascuna è dato dal contributo che la stessa fornisce alla pericolosità. Il valore modale M^* è il valore di M che fornisce il maggior contributo alla pericolosità.

tazione. Nella tabella Comuni_MR (nel Dvd allegato) sono stati riportati valori medi e modali per ciascun comune, attribuendo i valori massimi dei punti della griglia che ricadono all'interno del territorio comunale, oppure i valori del punto della griglia più vicino al confine comunale. Una rappresentazione di tali valori è riportata in Figura 2.8-2, Figura 2.8-3, Figura 2.8-4, Figura 2.8-5 e Figura 2.8-6.

I risultati riportati in mappa possono essere utilizzati per verificare le condizioni di stabilità di versante o di liquefazione per opere alle quali è associato un periodo di riferimento (RP) non superiore a quello per il quale la mappa è stata dedotta.

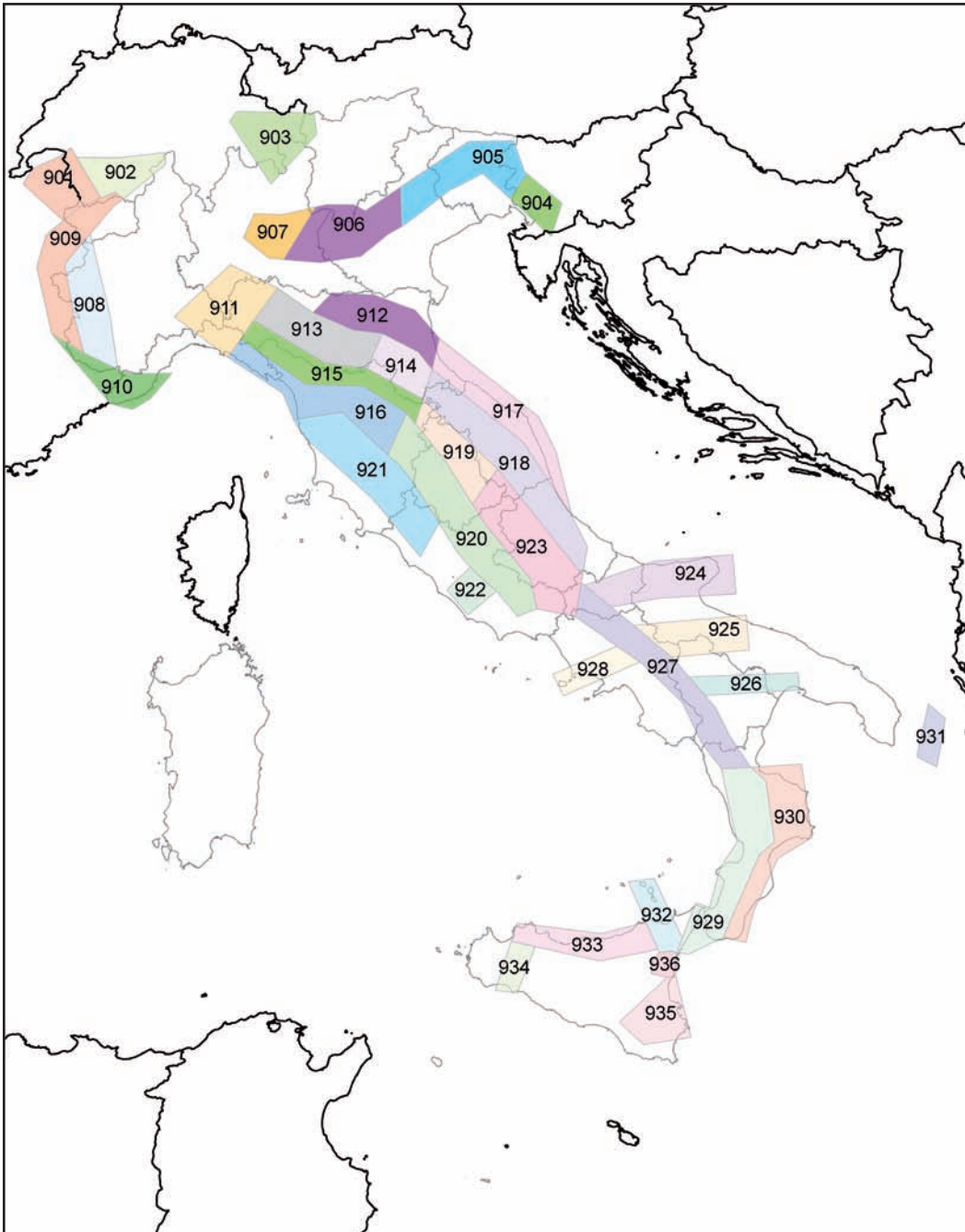


Figura 2.8-1 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

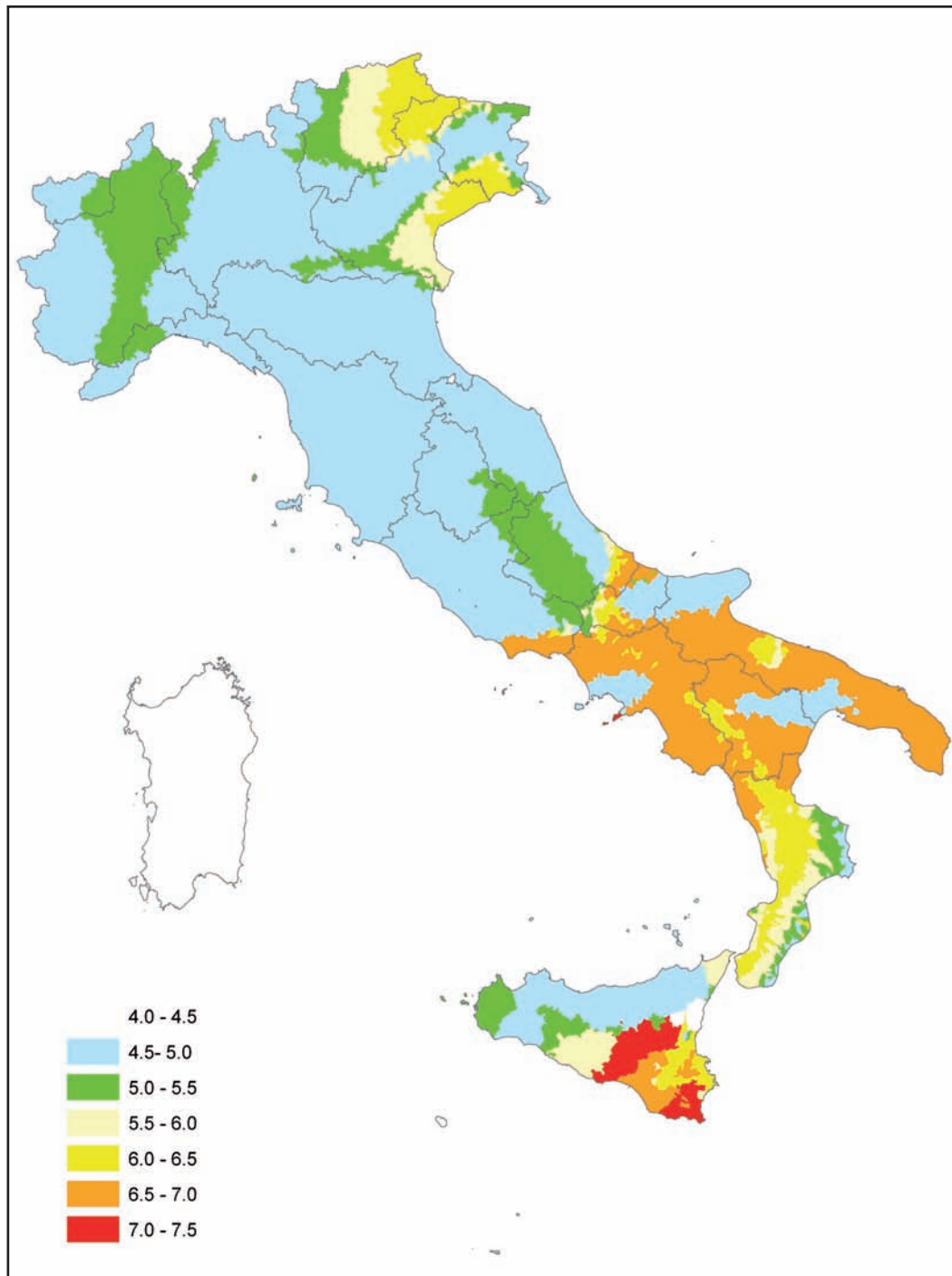


Figura 2.8-2 - Valori modali di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

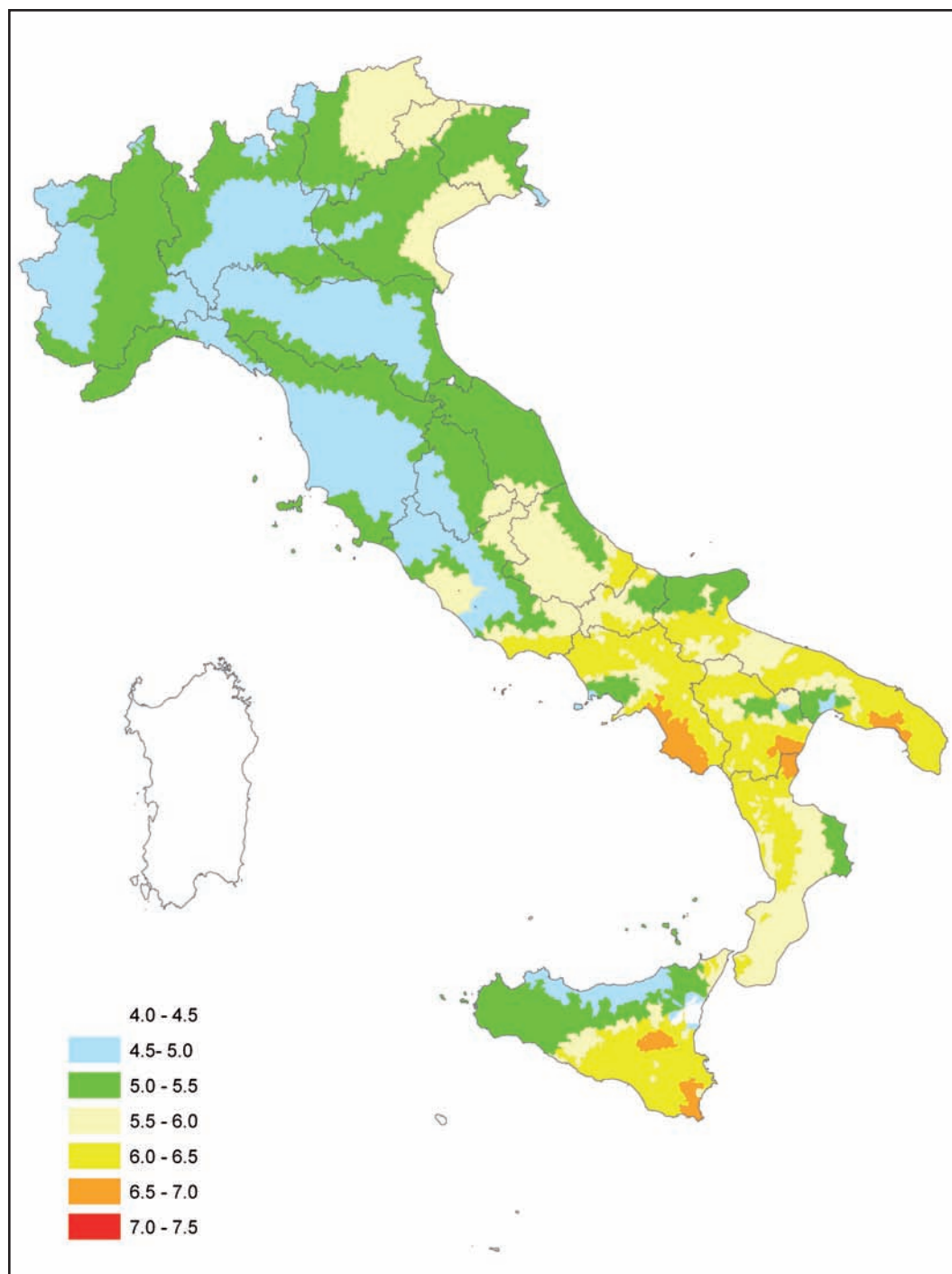


Figura 2.8-3 - Valori medi di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

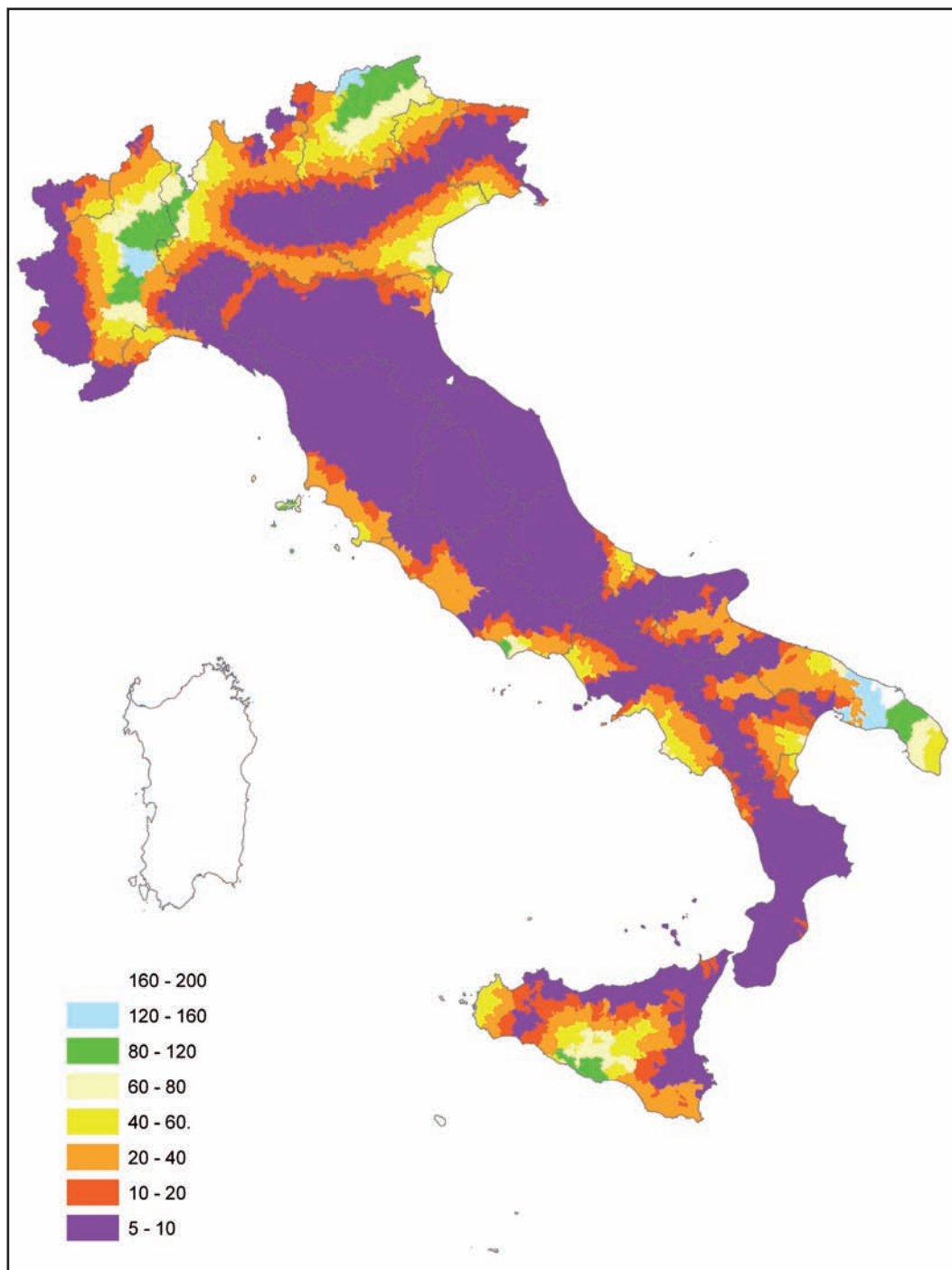


Figura 2.8-4 - Valori modali di R per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

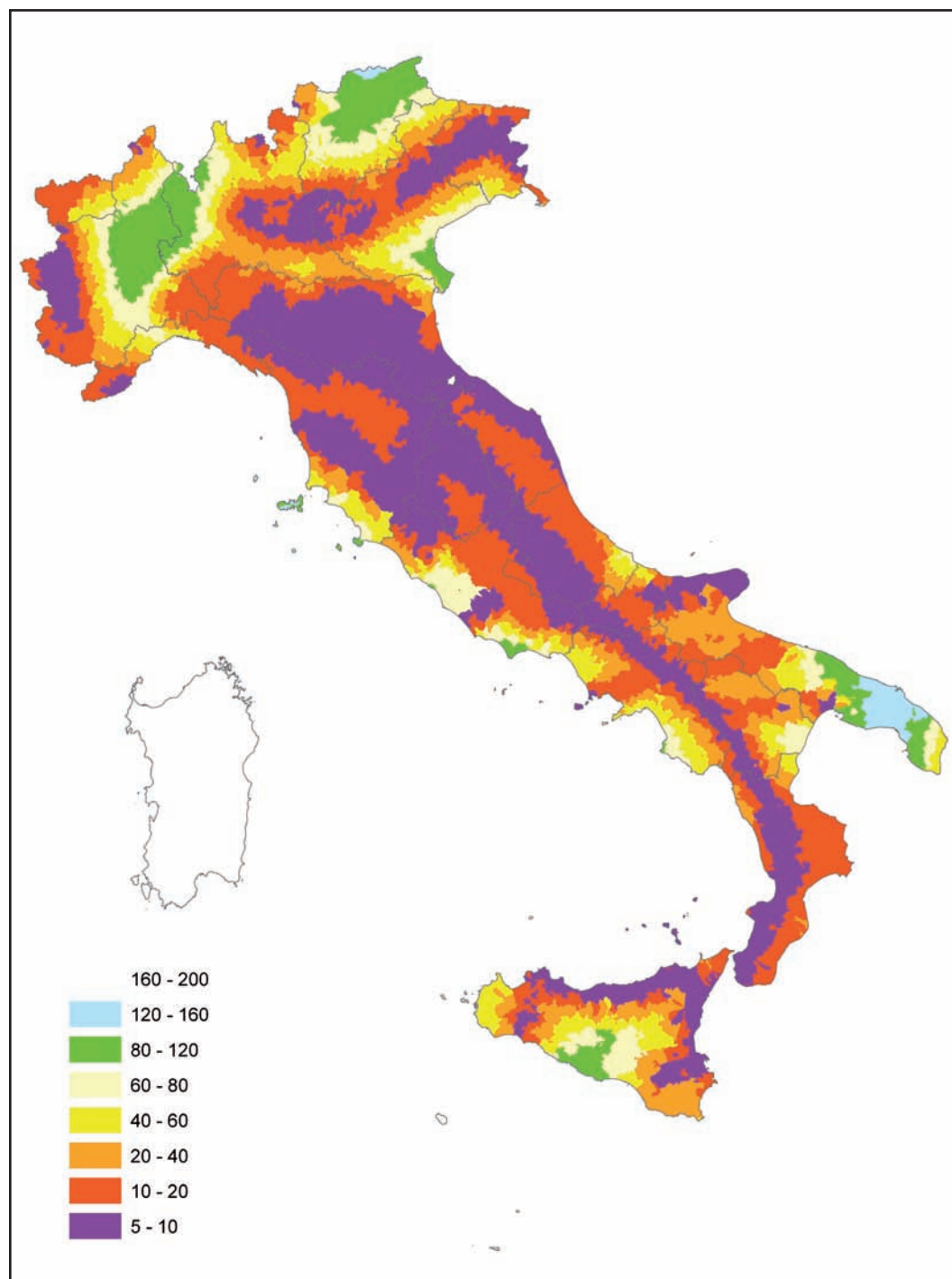


Figura 2.8-5 - Valori medi di R per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

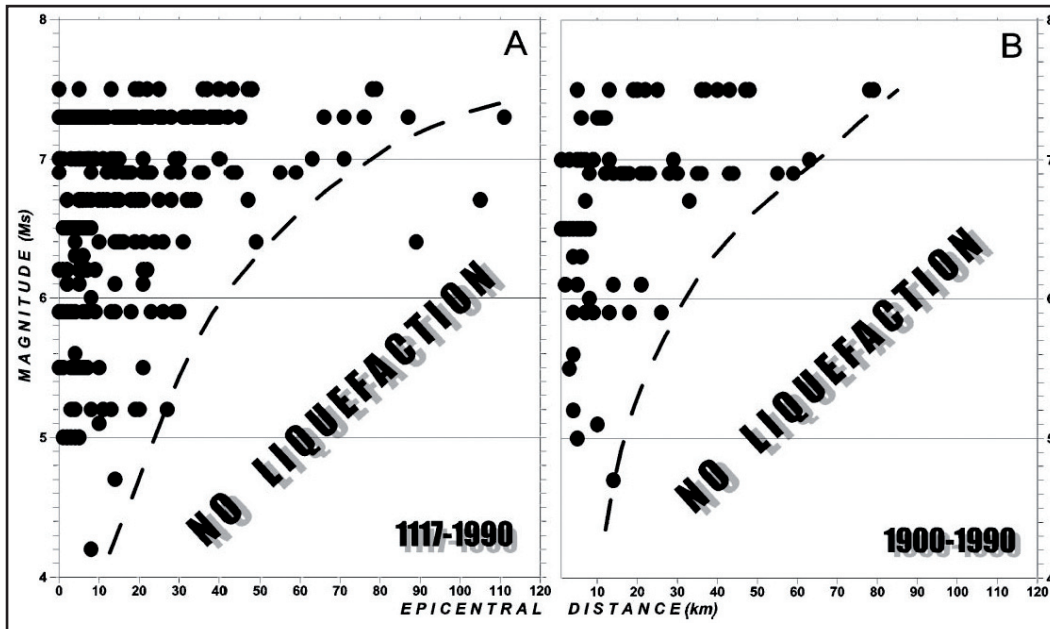


Figura 2.8-6 - Casi osservati di fenomeni di liquefazione in termini di M_s e distanza epicentrale (da Galli, 2000).

2.8.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bazzurro, P. e Cornell, C.A. (1999) – Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of Seismological Society of America*, 89, 2, 501-520.
- Galli, P. (2000) - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics* N. 324 pp. 169-187, Elsevier (www.elsevier.com/locate/tecto).
- Gruppo di lavoro (2004) - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20/3/03. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*, INGV, Milano-Roma, aprile 2004.
- Romeo, R.W. (2000) - Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Engineering Geology*, 58, 337-351.
- Spallarossa, D. e Barani, S. (2007) - *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R. Progetto DPC-INGV SI*, <http://esse1.mi.ingv.it/d14>.

Indice dei contenuti del Dvd

- **Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica**

- Indirizzi e criteri – Linee guida
- Appendice
- Glossario
- Esempi di cartografie

- **Sistema informativo geografico**

- Dati comunali
- Installazione ArcReader
- Tutorial ArcReader

- **Banca dati**

- Accelerogrammi
- Curve di decadimento
- Pericolosità
- Vulnerabilità/Esposizione
 - Tabelle di sintesi
 - Dati comunali
- Rischio

- **Nota sui contenuti del Dvd**

Nel DVD sono riportati gli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica predisposti dall'apposito Gruppo di lavoro istituito dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome e dal Dipartimento della protezione civile (Presidenza del Consiglio dei Ministri).

Sono inoltre riportati: gli accelerogrammi e le curve di decadimento utilizzati per la predisposizione degli abachi dei fattori di amplificazione stratigrafica; i valori massimi delle ordinate spettrali e dei parametri della normativa tecnica per le costruzioni (a_g , F_0 e T_c) per i comuni e per le località abitate, per i vari periodi di ritorno; i valori medi e modali di M e R (magnitudo e distanza) ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità; i dati di base relativi alla vulnerabilità e all'esposizione (abitazioni e popolazione residente) a livello comunale elaborati dai dati del censimento Istat 2001; le zone sismiche e gli indici di rischio comunali.

E' possibile consultare e scaricare i vari data base ed è possibile visualizzare e interrogare le mappe con i confini comunali, utilizzando il programma ArcReader.



Dipartimento della Protezione Civile
Via Ulpiano, 11 - Via Vitorchiano, 4 - Roma
www.protezionecivile.it