

# La Microzonazione Sismica: Procedure e Esempi Applicativi

Floriana Pergalani

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano*

*E-mail: floriana.pergalani@polimi.it*

*Parole chiave:* microzonazione sismica, effetti locali, amplificazioni, normative.

**SOMMARIO.** Le riflessioni sulle evidenze sperimentali di danni imputabili alle condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche di sito hanno portato a mettere a punto delle metodologie per la valutazione degli effetti sismici locali (amplificazioni, instabilità e liquefazioni) a scala urbanistica e a definire il tipo di indagini e di analisi indispensabili per raggiungere risultati utili per la pianificazione territoriale e per la progettazione delle costruzioni nelle zone sismiche.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) [1] propongono procedure che sembrano risultare troppo semplificate rispetto alla complessità del fenomeno. In particolare per quanto riguarda gli effetti di amplificazione il parametro considerato ( $V_{s,30}$ ) e la suddivisione dei litotipi in quattro classi di appartenenza non permette di distinguere tutti gli scenari geologici possibili presenti nel territorio nazionale.

Gli Indirizzi e Criteri ed per la Microzonazione Sismica (ICMS) [2] forniscono una metodologia, considerando diversi livelli di approfondimento, più appropriata per la valutazione di tali effetti.

A seguito della emanazione di tali Criteri, diverse regioni (Lombardia, Lazio, Emilia-Romagna) hanno prodotto procedure regionalizzate, da condurre a scala comunale nell'ambito degli studi geologici a supporto dei Piani di Governo del Territorio, verranno quindi illustrate tali procedure con esempi di applicazioni.

## 1 INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività finalizzate alla conoscenza della pericolosità sismica e della mitigazione del rischio di un territorio, gli studi geologici e geofisici sono ormai strumenti indispensabili per qualsiasi attività di ricostruzione e di prevenzione, soprattutto in ambito urbano, laddove alla pericolosità vanno a sovrapporsi sia la vulnerabilità di un edificato spesso molto fragile, sia l'enorme valore storico e artistico di molti centri urbani italiani anche di piccole dimensioni.

Uno studio di Microzonazione Sismica (MS) ha lo scopo di valutare la pericolosità sismica locale attesa in un'area circoscritta, dovuta alle sue particolari condizioni geologiche e geomorfologiche. Tali studi di carattere multidisciplinare possono essere affrontati con diversi livelli di approfondimento, in funzione degli obiettivi e delle necessità di salvaguardia dei centri urbani.

Il vero significato di uno studio di effetti locali è quello di tradursi in uno strumento di uso del territorio e per questo al suo carattere spiccatamente scientifico deve affiancarsi l'aspetto politico, inteso come scelte di priorità precise da parte di amministrazioni locali e di attività volte nella direzione della sicurezza, prevenzione, pianificazione territoriale, conoscenza e salvaguardia dei beni fisici ed architettonici.

Negli ultimi tempi, si è andata sempre più formalizzando da parte delle amministrazioni regionali la domanda di procedure di valutazione degli effetti locali adeguate alla scala degli strumenti

urbanistici. Da qui la necessità di definire metodi utilizzabili da parte delle strutture tecniche delle pubbliche amministrazioni o dei progettisti degli strumenti urbanistici, senza che sia necessario ogni volta ricorrere alla consulenza di specialisti del settore.

A questo scopo il Dipartimento di Protezione Civile di concerto con le Regioni hanno messo a punto una metodologia, che considera diversi livelli di approfondimento, per la valutazione della pericolosità sismica locale raccolta negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)” [2]. Di seguito verranno illustrate le procedure nazionali proposte negli ICMS.

## 2 INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

I contenuti e la complessità di uno studio di MS dipendono dai livelli di approfondimento che si vogliono raggiungere, a cui naturalmente corrispondono differenti risorse da mettere in campo, sia economiche sia professionali.

I livelli di approfondimento previsti sono tre, così definiti dagli ICMS [2]:

- *livello 1*. Il livello 1 di MS è propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento.

Il quadro conoscitivo necessario a realizzare tale livello si basa sulla raccolta dei dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici. La sintesi dei dati e delle cartografie disponibili consente di realizzare:

- una carta delle indagini,
- una carta litotecnica con relative sezioni,
- una carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

I limiti di uno studio di MS di livello 1 sono rappresentati dalla possibile presenza di litologie delle quali non è noto lo spessore, elementi tettonici da ricostruire nel loro assetto e geometria, dalla presenza di aree instabili la cui geometria e dinamica risultano incerti. Pertanto, tale livello consente di definire qualitativamente le zone omogenee e risulta utile ad orientare le indagini di approfondimento previste dai livelli di MS successivi.

- *livello 2*. Per risolvere le incertezze del livello 1, gli ICMS prevedono un livello 2 di approfondimento che, attraverso l'esecuzione di indagini geotecniche e geofisiche in sito di tipo standard, consente di definire meglio il modello geologico del sottosuolo e di fornire per ciascuna microzona identificata nello studio di livello 1 una quantificazione numerica degli effetti, ottenuta con metodi semplificati. I metodi semplificati sono basati sull'applicazione di abachi che consentono di quantificare l'amplificazione del moto sismico ( $F_a$ ), per ciascuna MOPS, nota la litologia prevalente, lo spessore e la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) media della copertura nonché la pericolosità di base. Gli abachi (Figura 1) sono costruiti per un modello ideale di sottosuolo, costituito da terreni omogenei a strati orizzontali, piani e paralleli, di estensione infinita e velocità  $V_s$  con gradiente costante, su un substrato rigido ( $V_s \geq 800$  m/s). Come previsto dagli ICMS alcune Regioni hanno già provveduto a emanare propri Abachi Regionali riferiti alle situazioni geologiche locali di ogni territorio regionale.
- *livello 3*. E' il livello di maggiore approfondimento e consente la definizione e caratterizzazione delle zone suscettibili di amplificazioni o di instabilità, in presenza di situazioni geologiche e geotecniche complesse, ad esempio inversioni di velocità o zone suscettibili di liquefazione, non risolvibili con abachi o metodi semplificati, dettagliando meglio, ove necessario, le carte di microzonazione di livello 1 e 2.

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Argilla										a <sub>s</sub> (g) 0,06g	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia	
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	V <sub>s</sub> (m/s)		
5	2.35	1.84	1.70	1.49	1.29	1.16	1.08	1.04	1.02	1.00			
10	2.49	2.41	2.05	1.73	1.51	1.35	1.23	1.17	1.06	1.02			
15	2.35	2.41	2.23	1.96	1.72	1.54	1.39	1.28	1.12	1.04			
20	2.00	2.19	2.15	2.03	1.82	1.63	1.48	1.36	1.17	1.06			
25	1.98	1.97	2.04	1.94	1.81	1.67	1.53	1.40	1.21	1.08			
30	1.94	1.98	1.91	1.87	1.75	1.64	1.52	1.42	1.23	1.09			
35	1.86	1.92	1.91	1.77	1.69	1.58	1.48	1.38	1.23	1.09			
40	1.77	1.89	1.90	1.78	1.62	1.54	1.45	1.36	1.21	1.08			
50	1.70	1.79	1.82	1.75	1.62	1.50	1.39	1.31	1.19	1.07			
60	1.58	1.71	1.74	1.69	1.59	1.49	1.39	1.30	1.15	1.05			
70	1.55	1.69	1.73	1.64	1.56	1.46	1.38	1.30	1.15	1.04			
80	1.40	1.57	1.70	1.58	1.50	1.43	1.35	1.29	1.15	1.04			
90	1.37	1.58	1.63	1.63	1.49	1.39	1.33	1.26	1.15	1.03			
100	1.29	1.52	1.55	1.57	1.50	1.38	1.29	1.24	1.14	1.03			
110	1.23	1.44	1.56	1.52	1.47	1.38	1.29	1.21	1.11	1.02			
120	1.17	1.40	1.52	1.48	1.44	1.36	1.29	1.22	1.10	1.02			
130	1.09	1.35	1.47	1.48	1.39	1.34	1.28	1.21	1.09	1.00			
140	1.06	1.30	1.41	1.45	1.37	1.32	1.25	1.20	1.09	0.99			
150	1.00	1.26	1.40	1.42	1.38	1.28	1.24	1.18	1.09	0.99			

Figura 1. Abaco ICMS per la valutazione degli effetti di amplificazione.

Il livello 3 si basa su indagini che richiedono un impegno economico maggiore ed elevata professionalità, ed è giustificato, ad esempio, nel caso di una fase di ricostruzione post-terremoto o, in fase preventiva, nelle aree a più elevato rischio sismico.

Per raggiungere gli obiettivi del livello 3 occorre: un modello del sottosuolo molto dettagliato, un evento di riferimento per le simulazioni numeriche, l'esecuzione di simulazioni numeriche per ottenere i parametri di amplificazione.

### 3 APPLICAZIONI

Come esempio di applicazione di livello 1 e 2 viene illustrato lo studio effettuato nel territorio comunale di Pinerolo (TO) in Piemonte [3,4], seguendo quanto previsto dagli ICMS.

Per il livello 1 le attività fondamentali del progetto sono consistite nella raccolta di tutti i dati geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, sondaggi, indagini geofisiche relativi ai territori oggetto d'indagine e nell'esecuzione di rilevamenti geologici di controllo sul terreno necessari alla ricostruzione dell'assetto geologico a scala locale, previa raccolta preliminare dei dati esistenti presso gli archivi e le banche dati interne e nell'esecuzione di nuove prove geofisiche.

I prodotti sono consistiti in:

- Carta geologico-technica (scala 1:10.000) predisposta sulla base dei rilievi geologici e morfologici disponibili e dai dati derivanti dai rilievi di controllo effettuati, corredata da sezioni geologiche significative. Le unità litologiche presenti nel territorio in esame sono, per quanto riguarda i terreni di copertura, il Deposito alluvionale a granulometria mista e il

Deposito eluvio-colluviale, e per quanto riguarda il substrato rigido questo è stato catalogato come lapideo scistoso. Il Deposito alluvionale a granulometria mista è caratterizzato da ghiaie e sabbie sciolte, localmente addensate, contraddistinte da buone caratteristiche geotecniche che garantiscono una buona capacità portante. Lo spessore medio dell'unità risulta essere variabile da 20 m a 60 m. Il Deposito eluvio-colluviale è caratterizzato da limi e sabbie sciolte, localmente coesive, contraddistinte da buone a mediocri caratteristiche geotecniche. Il substrato rigido è caratterizzato da un aspetto scistoso, con mediocri requisiti geomeccanici. Gli elementi geomorfologici presenti nell'area sono i conoidi alluvionali, gli orli di terrazzi fluviali e gli orli di scarpata morfologica con altezze variabili dai 10-20 m, la presenza di linee di cresta e di picchi isolati. Sono stati inoltre individuati i principali dissesti, distinguendoli per tipologia e stato di attività. Nell'area è stata evidenziata anche la presenza di una discarica come elemento areale di natura antropica.

- Carta delle Indagini (scala 1:10.000) dove sono state indicate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base al tipo ed alla profondità raggiunta.
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) (scala 1:10.000) (Figura 2) dove sono indicate le diverse aree suscettibili di amplificazione sismica e le aree instabili. Nella carta sono riportate le zone classificate come Zone stabili (Zona 1), le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Zona 2, 3, 4, 5, 6 e 7) e le Zone suscettibili di instabilità di versante. In particolare nelle Zone stabili ricadono le aree con la presenza di substrato rigido, mentre nelle Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ricadono le aree caratterizzate dalla presenza dei terreni di copertura. In particolare sono stati suddivise 6 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate dalla presenza di diversi terreni di copertura e diverse profondità fino al raggiungimento del terreno caratterizzato da  $V_s$  maggiori di 800 m/s. Nella carta sono riportate le Zone suscettibili di instabilità di versante suddivise per tipologia e stato di attività: in particolare sono evidenziati due corpi attivi di colamento, un corpo attivo di scorrimento e un corpo quiescente di colamento. Nella carta sono riportate anche le forme di superficie quali i conoidi alluvionali, gli orli di terrazzi fluviali e di scarpata morfologica con altezze variabili dai 10-20 m, le linee di cresta e i picchi isolati.

In generale l'area è caratterizzata da orizzonti piano paralleli dei litotipi presenti. Nelle zone individuate, quindi, si può prevedere l'applicazione di indagini di livello 2, come previsto dagli ICMS.

Per il livello 2 le attività fondamentali sono consistite nell'integrazione delle indagini geofisiche disponibili attraverso l'esecuzione di n. 4 indagini sismiche MASW. L'ubicazione dei nuovi punti di indagine è stata scelta sulla base delle analisi delle indagini pregresse in modo da integrare le informazioni disponibili per le zone 2, 4, 5 e 7 della carta MOPS. I risultati delle nuove indagini hanno permesso di predisporre i modelli geofisici, in termini di andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità, per ciascuna microzona omogenea. Sulla base di tali modelli sono stati ottenuti i dati di ingresso per l'utilizzo degli abachi di livello 2 contenuti negli ICMS, al fine di ottenere i rispettivi valori dei fattori di amplificazione  $F_a$  (amplificazioni litologiche) e  $F_t$  (amplificazioni morfologiche) e la relativa Carta di Microzonazione Sismica (Livello 2) (scala 1:10.000) (Figura 3). Nella carta sono riportate: le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone suscettibili di instabilità

Le carte di microzonazione sismica (Livello 2) riportano per ciascuna microzona i valori dei fattori di amplificazione  $F_a$  e  $F_t$ . La carta mostra bassi valori di amplificazione attesa nella quasi totalità del territorio analizzato, ad esclusione della zona collinare (Zona 7) e pedemontana (Zona 2), ove i valori di amplificazioni risultano rispettivamente medi ed alti. I valori dei fattori di amplificazione calcolati possono in generale ritenersi sufficientemente affidabili per le finalità proprie della pianificazione,

finalizzate alla definizione di graduatorie di pericolosità. Lo studio di Livello 2 ha evidenziato una possibile criticità per la Zona 2, ove la presenza di un substrato rigido superficiale e probabilmente non orizzontale potrebbe innescare anche fenomeni di amplificazione di tipo geometrico, che necessiterebbero di maggior approfondimento con studi di microzonazione di Livello 3, in modo particolare se le scelte urbanistiche prevedessero la realizzazione di edifici strategici e/o rilevanti.

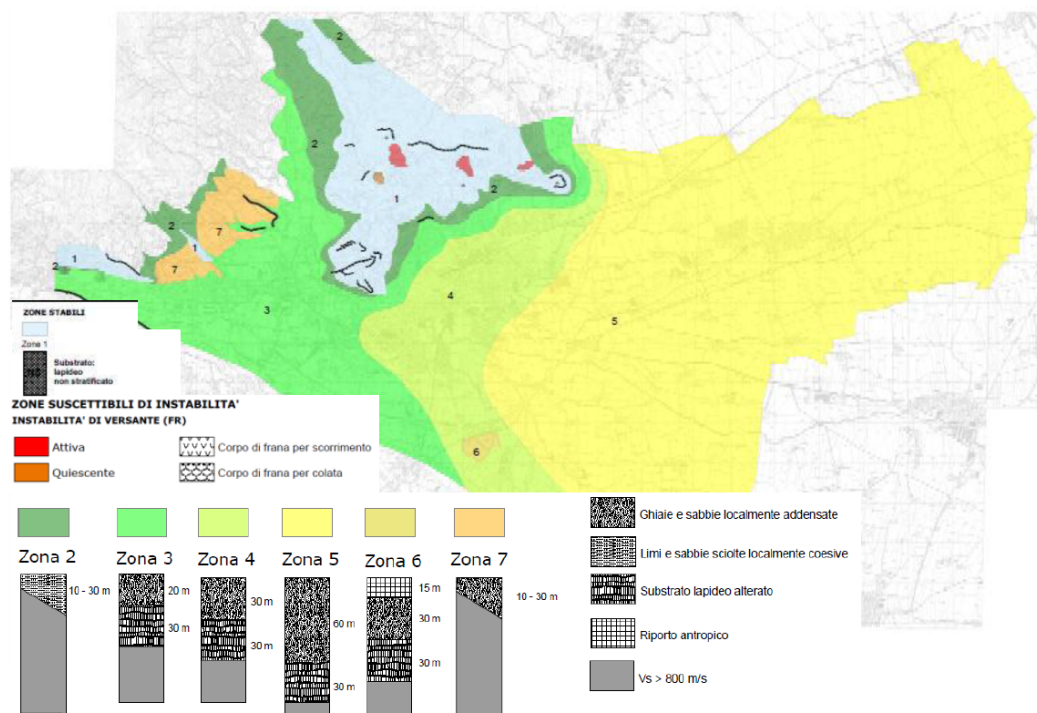


Figura 2. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica livello 1.

Come esempio di applicazione di livello 3 si riporta lo studio di MS effettuato nel comune di Perugia [5].

Le fasi fondamentali dello studio sono così riassunte:

- esecuzione del rilevamento geologico di 4 sezioni della carta tecnica regionale (scala 1:10.000) e redazione di carte geologiche e di pericolosità sismica locale, raccolta dati geologici, geomorfologici, geofisici e geotecnici sia esistenti sia provenienti da indagini in sito e in laboratorio effettuate nell'ambito del progetto, studio storico e d'archivio sul danneggiamento da terremoti della città di Perugia;
- costruzione del modello geologico-geofisico ed individuazione delle sezioni rappresentative;
- individuazione dell'input sismico;
- modellazione numerica monodimensionale (1D) e bidimensionale (2D) e determinazione dei fattori di amplificazione e degli spettri di risposta elastici in accelerazione;
- confronti con i risultati dell'analisi strumentale [6] in punti significativi;
- prime proposte per un uso dei risultati sia in ambito pianificatorio sia in ambito progettuale.

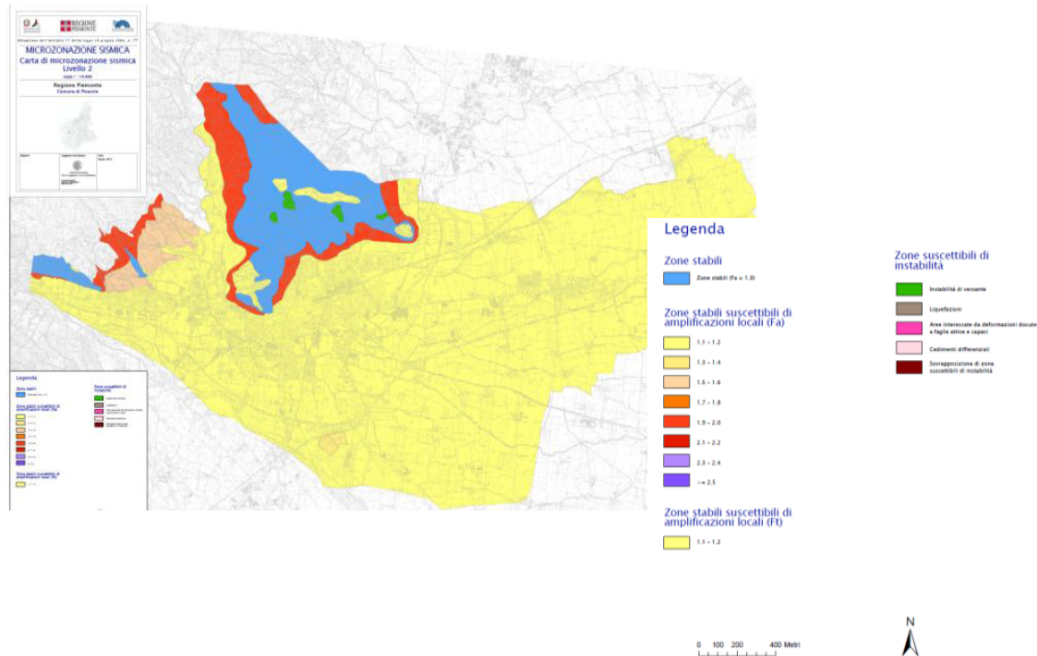


Figura 3. Carta di microzonazione sismica livello 2.

Nella prima fase sono state raccolte e georeferenziate tutte le informazioni disponibili per il Comune di Perugia riguardanti indagini geologiche e geotecniche eseguite in ambito progettuale (circa 800 sondaggi), che hanno contribuito alla realizzazione di estremo dettaglio delle carte geologiche alla scala 1:10.000; sono state inoltre reperite informazioni sul danneggiamento storico da terremoti della città di Perugia (circa 500 dati) e raccolte 156 carte geografiche storiche realizzate a partire dal 1572; sulla base dei dati disponibili è stata programmata una nuova campagna geognostica finalizzata al completamento delle conoscenze geologiche disponibili (individuazione delle varie unità geologiche e dei loro rapporti stratigrafici) e alla caratterizzazione geotecnica e geofisica di ciascuna unità individuata. In particolare la nuova campagna geognostica ha previsto la realizzazione di 12 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 40 m ciascuno, con relativi Down Hole (DH), 11 prove penetrometriche (SPT), 11 stendimenti di sismica superficiale a rifrazione (138 m ognuna) con restituzione tomografica delle velocità delle onde SH e P, 3 profili sismici con tecniche MASW e Remi e prove di laboratorio statiche e dinamiche su 23 campioni indisturbati (proprietà fisiche, analisi granulometrica, prova edometrica, prova triassiale e colonna risonante).

Nella seconda fase è stato predisposto il modello geologico-geofisico dell'area in esame, dal quale sono state ricostruite 9 sezioni geologiche - geofisiche interpretative.

In Figura 4 sono riportate, in tabella, le unità geologiche individuate e i relativi parametri geofisici e geotecnici utilizzati nelle analisi numeriche e nei grafici gli andamenti del modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e del rapporto di smorzamento ( $D$ ) in funzione della deformazione tangenziale ( $\gamma$ ) per le unità geologiche individuate [7,8]; in Figura 5, a titolo esemplificativo, sono riportate due delle sezioni geologiche analizzate e i relativi punti di analisi.

Nella terza fase è stato individuato il moto di input da applicare al substrato rigido (unità MA)

nell'analisi numerica. La scelta ha rispettato quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni [1], che prevedono l'uso di almeno 5 accelerogrammi registrati su suolo di categoria A, compatibili con le caratteristiche sismogenetiche dell'area, con il valore di accelerazione massima attesa ( $a_{max}$ ) [9] e con la coppia magnitudo-distanza attesa da analisi di disaggregazione.

In Tabella 2 sono riportati gli eventi sismici selezionati dal database ITACA [10], la profondità ipocentrale, la relativa magnitudo, la sigla della stazione di registrazione, la sua distanza dall'epicentro, la componente del moto scelta e il relativo picco di accelerazione.

Nella quarta fase, sulla base dei dati reperiti, sono state eseguite modellazioni numeriche monodimensionali 1D e bidimensionali 2D, privilegiando quelle monodimensionali data la situazione morfo-stratigrafica dell'area prevalentemente piano-parallela e l'abbondanza dei dati sulle singole verticali. Le analisi bidimensionali sono state eseguite solo in corrispondenza del rilievo ove sorge il centro storico di Perugia (utilizzando un modello BEM [11] e in corrispondenza di Pian di Massiano (utilizzando un modello FEM), posti lungo la sezione n. 2.

unità geofisica	sigla	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
riporti	R	220	710	19.2
frane	F	250	750	19.2
unità eluvio-colluviale	EC	260	830	19.6
unità ghiaiosa alluvionale	GA	300	1020	19.7
unità limosa alluvionale	LA	270	780	19.4
unità argillosa Pian di Massiano	APM	250	1800	19.7
unità argillosa S. Sisto	SS	350	1350	19.3
unità conglomeratica Tassello	CT	510	1890	20.2
unità sabbiosa Monterone	SM	470	2060	21
unità argillosa Monteluca	AM	500	1870	20
unità conglomeratica Piscille	CP	650	2200	20
unità torbiditica alterata	TA	540	2120	20
unità Marnoso-Arenacea	MA	760	2440	20.9
unità Schlier	S	900	2300	21
unità Bisciaro	B	900	2400	23.5
unità Scaglia Cinerea	SC	1000	2520	24.2
unità Scaglia Rossa	SR	1800	4560	25.5

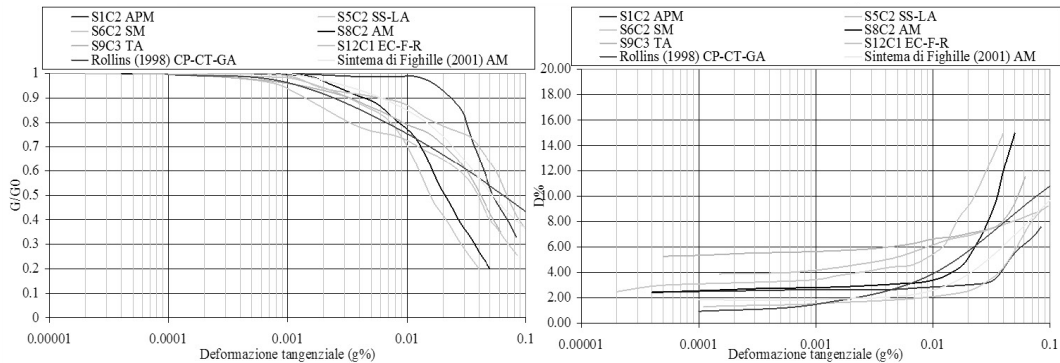


Figura 4. Unità geologiche individuate con i relativi parametri e curve di G/G0 e D.

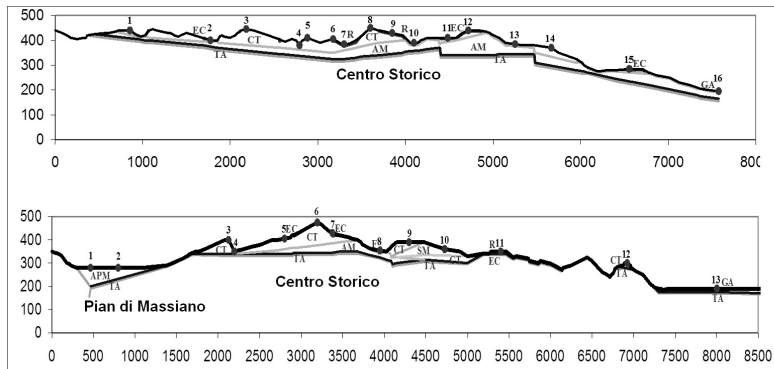


Figura 5. Esempi di sezioni geologiche - geofisiche interpretative (sezioni n. 1 e n. 2).

Evento	Data	Ora	Prof. (km)	Mw	ML	Sigla	Dist. Epic. (km)	Comp.	PGA (g)
VAL NERINA	1979-09-19	21:35:37	6.0	5.8	5.5	CSC	9.3	W-E	0.203
GUBBIO	1984-04-29	05:03:00	6.0	5.6	5.2	PTL	26.1	N-S	- 0.172
								W-E	- 0.177
UMBRIA-MARCHE 1°	1997-09-26	00:33:12	3.5	5.7	5.6	ASS	24.0	N-S	0.155
UMBRIA-MARCHE 2°	1997-09-26	09:40:25	9.9	6.0	5.8	ASS	21.4	W-E	0.188

Tabella 2. Caratteristiche degli eventi selezionati.

I risultati delle analisi in termini di fattore di amplificazione, definito come rapporto tra le intensità spettrali [12] di output ed input calcolate per tre diversi intervalli di periodo (0.1-0.5 s, 0.5-1.5 s e 0.1-2.5 s), mostrano in generale modesti valori di amplificazione (Figura 6), se si escludono le aree caratterizzate dalla presenza di riporti (R), coltri eluvio-colluviali (EC) e unità limose e ghiaiose alluvionali (LA e GA) con spessori maggiori di 5 m. Gli spettri di risposta elastici in accelerazione mostrano, in generale, modesti livelli di amplificazione, ben rappresentati dagli spettri di normativa associati alle relative categorie di sottosuolo, ad esclusione dei casi sopra citati; in Figura 7 sono rappresentati gli spettri di risposta medi per tutti i punti analizzati delle sezioni 1 e 2 derivanti dall'applicazione dei 5 accelerogrammi e il corrispondente spettro di norma, che mostrano i casi di adeguatezza e di non adeguatezza della norma.

L'analisi 2D effettuata sul rilievo del centro storico non ha evidenziato sostanziali effetti di amplificazione topografica; in Figura 9 è mostrato il confronto tra gli spettri di risposta medi ottenuti in corrispondenza del punto sommitale del rilievo (punto 6 sezione 2) dalle analisi 1D e 2D; l'analisi 2D condotta in corrispondenza del Pian di Massiano ha evidenziato valori di amplificazione molto simili a quelli ottenuti dalle analisi 1D, mostrando una scarsa influenza delle geometrie sepolte sull'amplificazione.

Nel quinta fase sono stati confrontati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche con quelli ottenuti dalla campagna strumentale; i risultati sono in generale tra loro concordi sia in termini di Fa sia in termini di spettri di risposta e in particolare in Figura 8 sono mostrati i confronti in termini di spettri di risposta



medi per due diverse aree: una soggetta ad amplificazioni maggiori (punto 10 sezione n. 1 con presenza di riporto con spessore maggiore di 5 m), l'altra non soggetta ad amplificazioni (punto 2 sezione n. 1 con presenza di coltri eluvio-colluviali con spessore inferiore a 5 m).

La sesta fase, come conclusione del progetto, considerando la robustezza dei risultati ottenuti, prevede di utilizzare i valori di  $F_a$  per definire una graduatoria di pericolosità delle aree da utilizzarsi in fase pianificatoria; i risultati in termini di spettri di risposta elastici potranno essere utilizzati direttamente in fase di progettazione oppure potranno ottimizzare la scelta dello spettro di norma che meglio rappresenta la situazione analizzata.

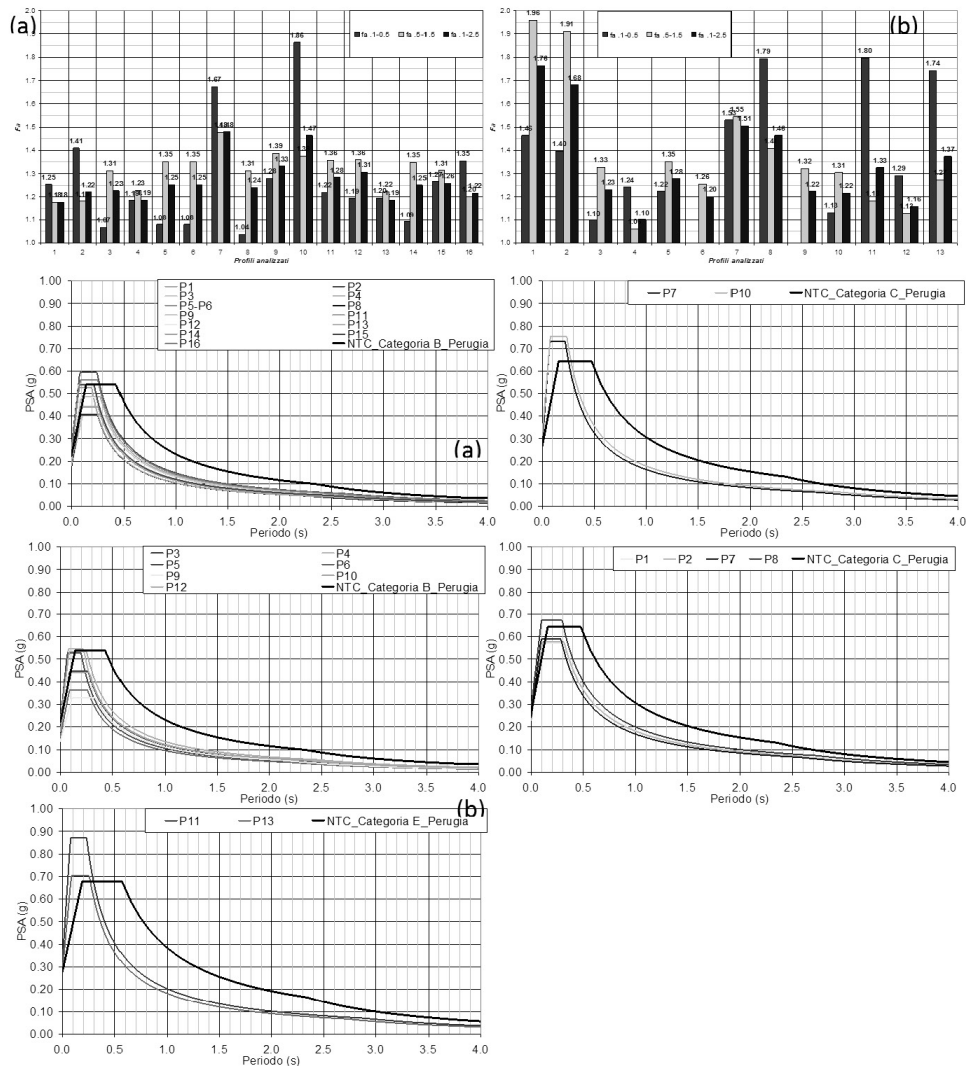


Figura 6. Fattori di amplificazione calcolati lungo le sezioni n. 1 (a) e n. 2 (b) e spettri di risposta medi per tutti i punti analizzati delle sezioni 1 (a) e 2 (b).

#### 4 CONCLUSIONI

Il lavoro ha lo scopo di mostrare le procedure messe a punto sia a livello nazionale, sia a livello regionale per studi di Microzonazione Sismica. Negli ultimi tempi, si è andata sempre più formalizzando da parte delle amministrazioni regionali la domanda di procedure di valutazione degli effetti locali adeguate alla scala degli strumenti urbanistici.

Tale esigenza nasce dal fatto che il vero significato di uno studio di effetti locali è quello di tradursi in uno strumento di uso del territorio e per questo al suo carattere spiccatamente scientifico deve affiancarsi l'aspetto politico, inteso come scelte di priorità precise da parte di amministrazioni locali e di attività volte nella direzione della sicurezza, prevenzione, pianificazione territoriale, conoscenza e salvaguardia dei beni fisici ed architettonici.

A tal fine sono proposte metodologie che prevedono diversi livelli di approfondimento e metodologie modulari che possono essere via, via implementate.

Ed infine sono riportati esempi di applicazione di studi di Microzonazione Sismica di livelli 1 e 2 nel territorio piemontese e di livello 3 per la città di Perugia.

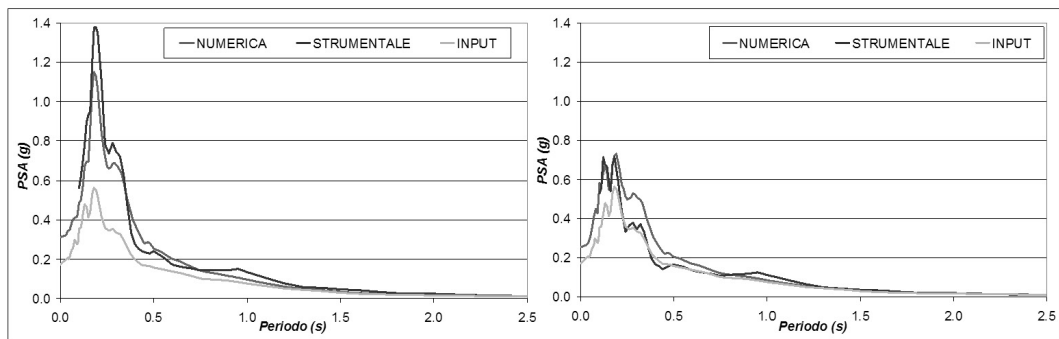


Figura 7. Confronti tra gli spettri di risposta medi calcolati con modelli 1D e 2D per il punto 6 (centro storico) (a) e per il punto 1 (Pian di Massiano) (b) lungo la sezione n. 2.

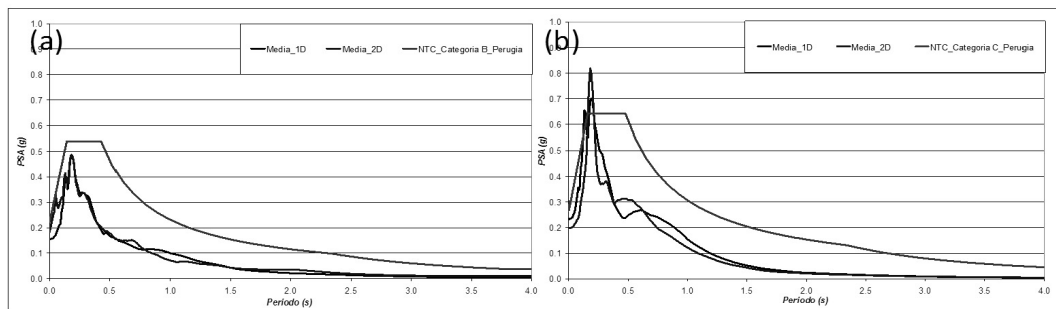


Figura 8: Confronti tra i risultati ottenuti dall'analisi numerica e strumentale.

*Bibliografia*

- [1] Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (2008).
- [2] Gruppo di lavoro MS, 2008. “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”. *Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile*. Roma, 3 vol. e Dvd (2008).
- [3] Pergalani, F., (a cura di), “Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS”. *Rapporto Tecnico*. DIS – Politecnico di Milano, pp 56 (2011)
- [4] Pergalani, F., (a cura di), “Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 2 degli ICMS”. *Rapporto Tecnico*. DIS – Politecnico di Milano, pp 56 (2013).
- [5] Pergalani, F., Compagnoni, M., “Esecuzione di modellazioni mono e bidimensionali finalizzate alla microzonazione sismica dell’area urbana di Perugia”. *Rapporto Tecnico*. DIS-Politecnico di Milano, pp 67 (2009).
- [6] Priolo, E., (a cura di) “Studi geofisici finalizzati alla microzonazione dell’area urbana di Perugia”. *Relazione conclusiva delle attività*. OGS, Trieste (2009).
- [7] Crespellani, T, Madiari, C, Simoni G., “Indagini geotecniche per la valutazione degli effetti di sito in alcuni centri dell’Alta Valtiberina”. *Rapporto tecnico*, DIC, Firenze (2001).
- [8] Rollins, K.M., et al., “Shear modulus and damping relationship for gravels”. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (1998).
- [9] Gruppo di Lavoro 2004, “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003”. *Rapporto conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile*, INGV, Milano - Roma, pp 65 + 5 appendici, aprile 2004.
- [10] Luzi, L., Sabetta, F., “Data base dei dati accelerometrici italiani relative al periodo 1972-2004. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia” (2006).
- [11] Callerio, A., Petrini, V., Pergalani F., “ELCO, A program for two-dimensional analyses using boundary element method”. *Rapporto Tecnico*, IRRS, Milano (2000).
- [12] Housner, G. W., “Spectrum Intensities of strong motion earthquakes”. *Proceeding of the symposium on Earthquake and Blast effects on Structures*. Earthquake Engineering Research Institute, 322 pp (1952).

