

LA MICROZONAZIONE SISMICA

Dario Albarello

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente

Università degli Studi di Siena

dario.albarello@unisi.it

Per la riduzione del danno atteso per effetto dei futuri terremoti (**rischio sismico**) è necessario

- *adottare regole costruttive efficaci per i nuovi edifici*
- *pianificare e sostenere il miglioramento sismico degli edifici esistenti dando priorità alle situazioni più critiche*
- *sviluppare forme di pianificazione territoriale volte a ridurre il livello di esposizione nelle aree a maggiore pericolosità*
- *preparare piani di emergenza calibrati sulle specifiche caratteristiche delle singole aree interessate dal futuro terremoto*

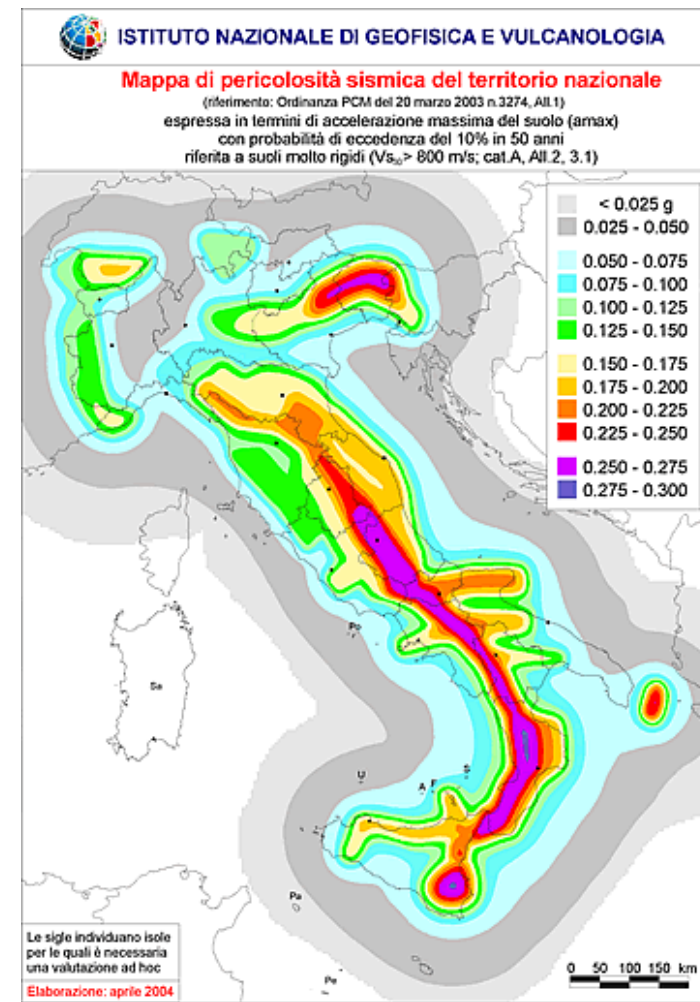
Tutte queste azioni sono costose (sia in termini di costi diretti che di mancati introiti) e richiedono tempi lunghi (anni o decine di anni) per la loro piena messa in opera

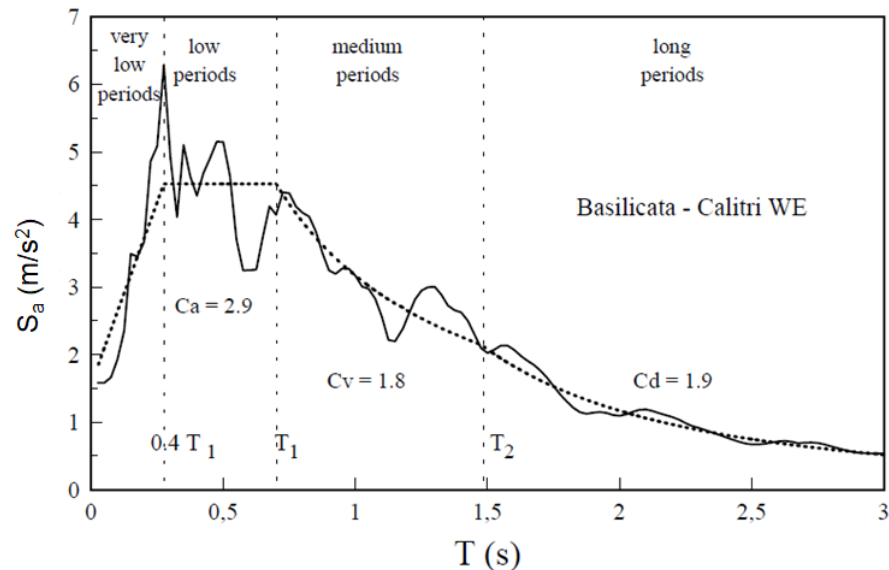
Il processo risulta accelerato nella fase di ricostruzione post-sisma per la disponibilità di finanziamenti straordinari che offrono alle Autorità locali **grandi opportunità** di intervento e quindi la possibilità rendere **più resiliente** il sistema territoriale investito dall'evento

Si tratta di stime ad uso delle Autorità centrali a supporto di politiche generali di indirizzo, che prendono in esame le caratteristiche della sismicità (energia, rilasciata, frequenze di occorrenza, ecc.) e le modalità di propagazione dell'energia sismica a larga scala. E' un prodotto della comunità scientifica eventualmente fatto proprio dalla normativa

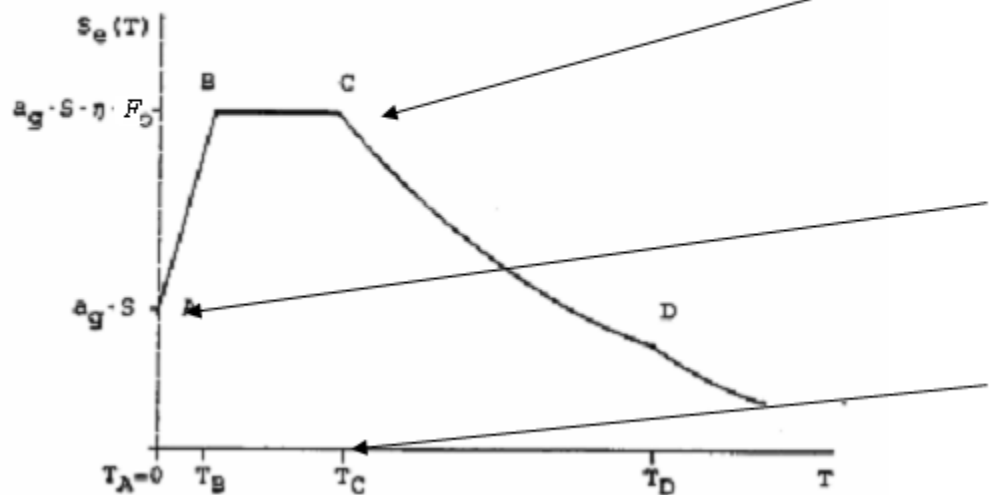
Un possibile esito di questo genere di analisi è la definizione del **massimo moto sismico ragionevolmente atteso** (in forma di spettro di risposta in accelerazione a probabilità di eccedenza costante) **in ogni punto del territorio**, immaginando una sismicità **stazionaria** e che ovunque affiori il **substrato sismico** ovvero una formazione caratterizzata da una velocità delle onde S sempre superiore agli 800 m/s

In linea di principio, questo tipo di risultato sarebbe utilizzabile per la progettazione solo in situazioni molto particolari





Lo spettro di riferimento viene proposto in una forma standardizzata in una forma parametrica che è poi quella utilizzata nelle normative sismiche



F_0 = valore che modifica la forma spettrale attorno al massimo dello spettro in accelerazione orizzontale

a_g : picco di accelerazione del moto del suolo sul piano orizzontale (o PGA) espresso in frazioni dell'accelerazione di gravità

T_C^* : Periodo massimo del tratto dello spettro a velocità costante

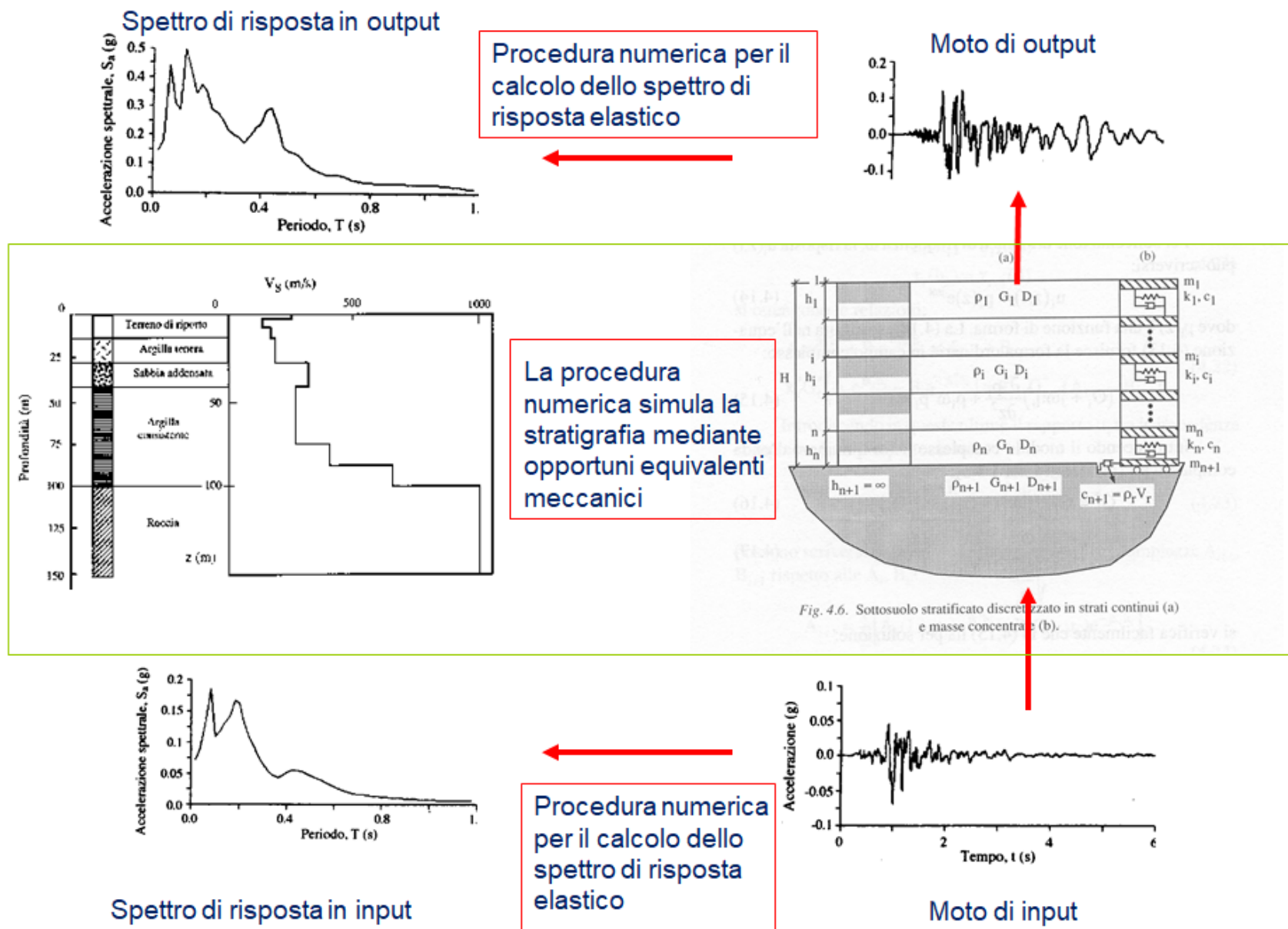
Alla scala del manufatto, la pericolosità sismica si risolve nella determinazione del carico dinamico indotto dal terremoto sulla struttura progettata o da verificare

La modalità di definizione è regolata dalle **Norme Tecniche per le Costruzioni** che **prescrivono** la stima della **Risposta Sismica Locale** ovvero dello scuotimento atteso per effetto della situazione sismostratigrafica e morfologica al punto di interesse a partire dallo **spettro di riferimento** dedotto dalla carta di pericolosità sismica del territorio nazionale

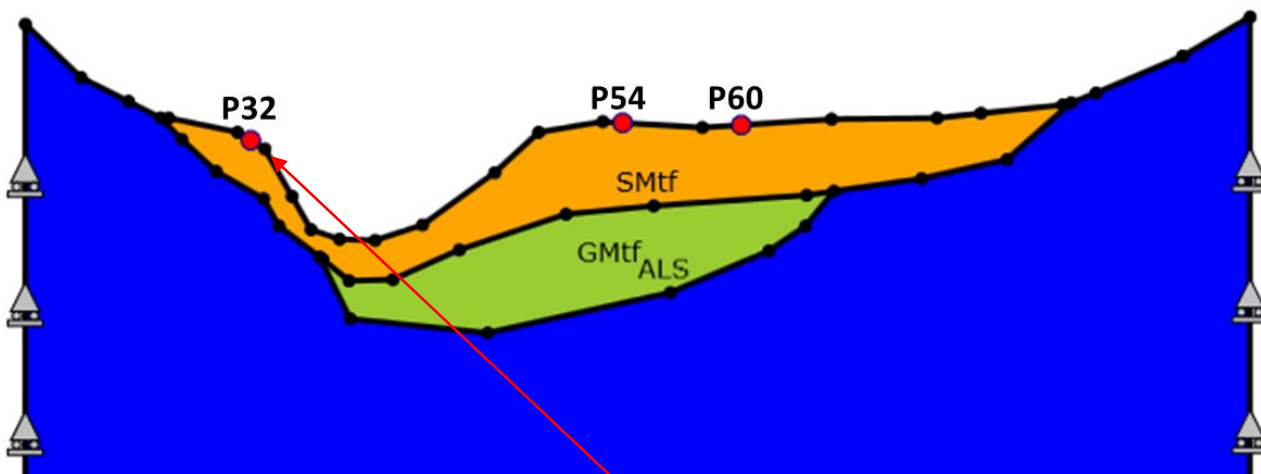
Si tratta di una stima effettuata in funzione delle **caratteristiche del singolo manufatto e dal livello di protezione** che si vuole raggiungere **per quello specifico oggetto**

A meno che non si verifichino condizioni assai particolari (corrispondenti alle cosiddette **categorie di sottosuolo** da certificare caso per caso), **richiedono modellazioni numeriche** corredate da indagini specifiche (e costose) condotte su «*un volume significativo di terreno*» ovvero «... *la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso*» (NTC08)

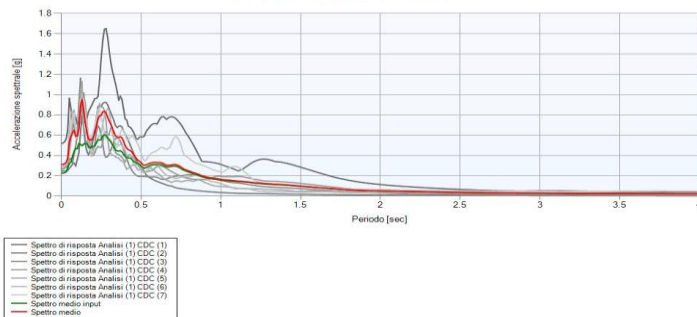
Si tratta di una procedura complessa che, anche nei casi più semplici (p.es. in assenza di variazioni laterali significative e morfologia piana) richiede analisi relativamente sofisticate che necessitano di operatori qualificati



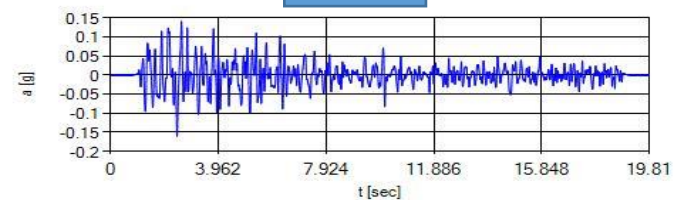
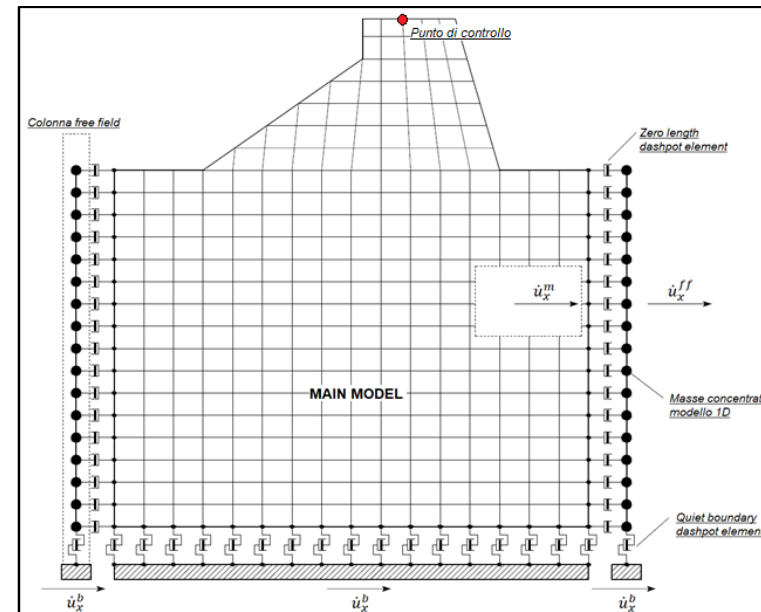
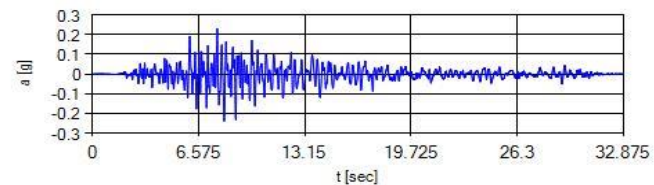
In presenza di configurazioni più complesse, la modellazione deve essere eseguita con procedure più avanzate



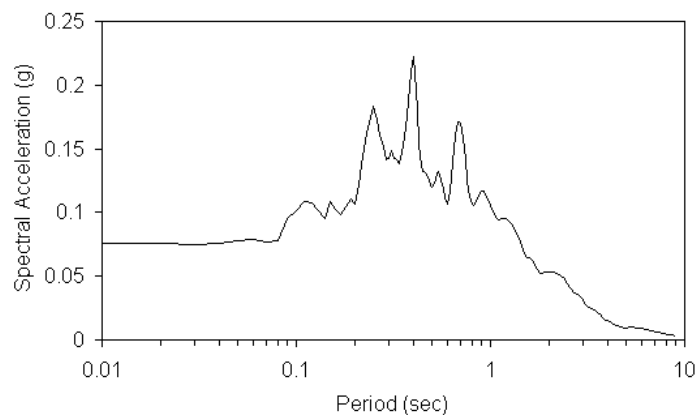
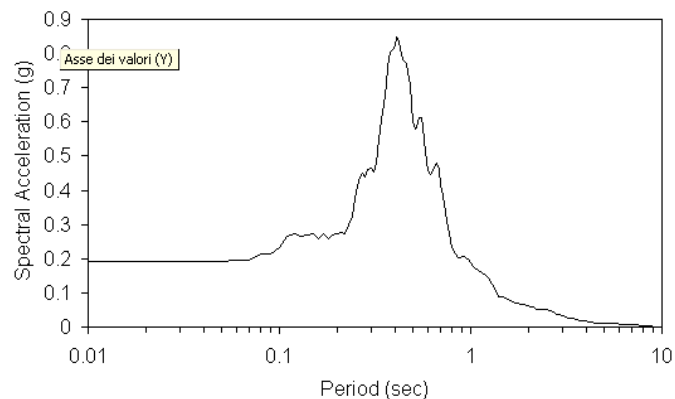
Spettro di risposta cinematico di controllo P (32)



Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 4DirezioneX)

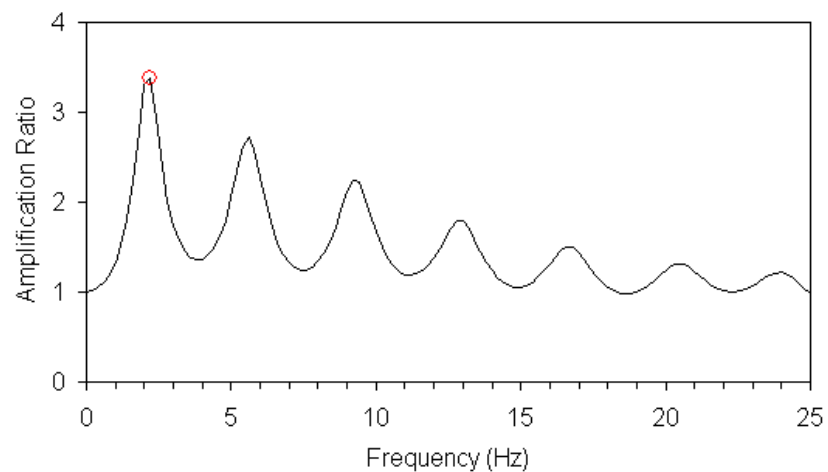


Spettro di risposta atteso
nel punto di interesse



Moto di riferimento

Queste stime valgono solo per il punto cui
la modellazione si riferisce e per
definizione non possono essere estrapolate ad
altre porzioni del territorio!



Funzione di amplificazione

E' evidente che nessuna forma di **governo del territorio** volto a ridurre il livello di esposizione, a guidare interventi di riduzione del rischio a scala territoriale (in particolare alla scala della Municipalità) o a pianificare la ricostruzione in fase post emergenza può avvalersi di stime di questo tipo, per i **costi proibitivi** che comporterebbero quando estesi ad intere porzioni del territorio o a tutti i tipi di manufatto

A supporto di queste azioni è quindi necessario dotarsi di uno strumento conoscitivo di tipo differente, che abbia **carattere estensivo** a fronte di **costi sostenibili** da parte di una pubblica amministrazione e che eventualmente guidi **in forma preliminare** le valutazioni della risposta sismica locale

Questo strumento è la **Microzonazione Sismica** il cui scopo principale è quello di fornire le **informazioni necessarie** per supportare e rendere più efficaci le attività di riduzione del rischio che competono alle Amministrazioni Locali (*pianificazione dell'emergenza, governo del territorio, controlli sulle applicazione delle norme tecniche per le costruzioni, distribuzione degli incentivi per la riduzione della vulnerabilità dei beni privati e pubblici*)

L'elemento chiave della Microzonazione Sismica è la **Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS)** ovvero un **areale** caratterizzato dagli stessi fenomeni sotto l'azione del terremoto

Vengono definiti tre tipi di MOPS

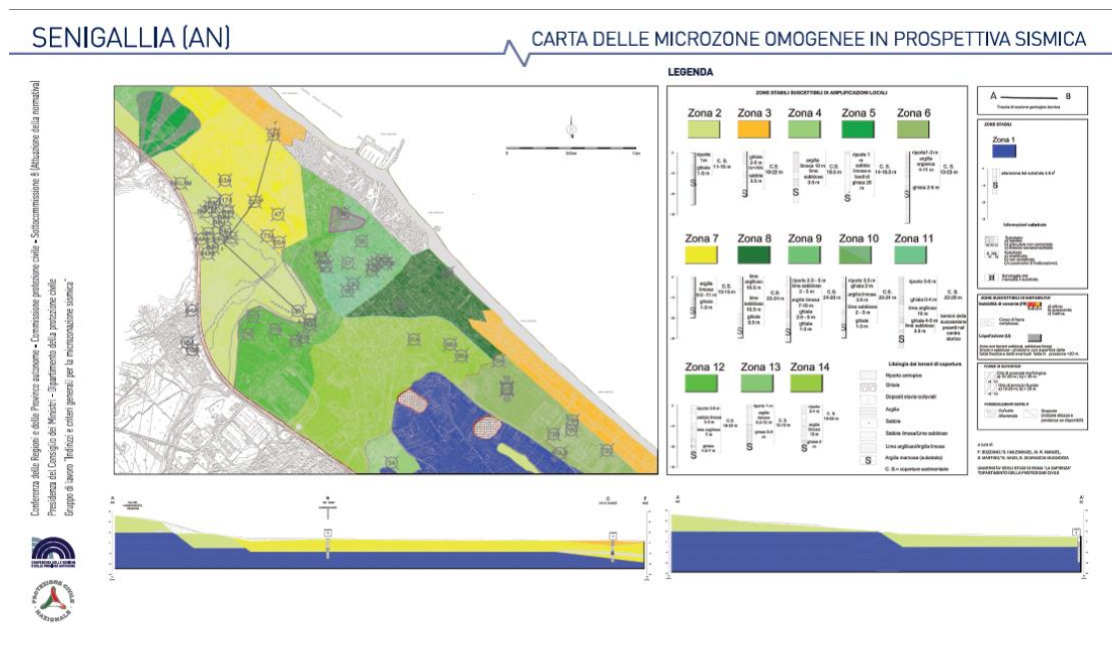
1. Zone **stabili**, ovvero zone nelle quali il terremoto si manifesta con le stesse caratteristiche previste dalla carta di pericolosità sismica di riferimento
2. Zone **stabili soggette ad amplificazione**, ovvero zone le cui caratteristiche sismostratigrafiche e morfologiche modificano il moto sismico rispetto a quello definito dalla carta di pericolosità sismica di riferimento
3. Zone **instabili**, ovvero zone nelle quali il moto sismico induce fenomeni di instabilità o modificazioni permanenti della configurazione del terreno (frane, liquefazione, dislocazioni)

Scopo della Microzonazione Sismica è definire e caratterizzare questi areali

Allo scopo di garantire la fattibilità di questo tipo di analisi, la MZS viene programmata su **tre livelli di approfondimento**, ciascuno caratterizzato da modalità di analisi, costi, esiti attesi e modalità di utilizzo differenti

1. Livello I (propedeutico)

*prevede un largo impiego di dati pregressi e misure a basso costo (vibrazioni ambientali) per la costruzione di un **modello geologico del sottosuolo (in prospettiva sismica)** identificando le zone caratterizzate dalla presenze dello stesso genere di effetti (amplificazione statigrafica, frane, ecc.). Uno degli esiti del primo livello è la costruzione di una base dati georeferenziata che raccoglie e caratterizza le informazioni disponibili*



Ciascuna MOPS viene delimitata e caratterizzata in termini sismostratigrafici (successione di unità geologico/tecniche) e sismici (frequenza di risonanza o f_0)

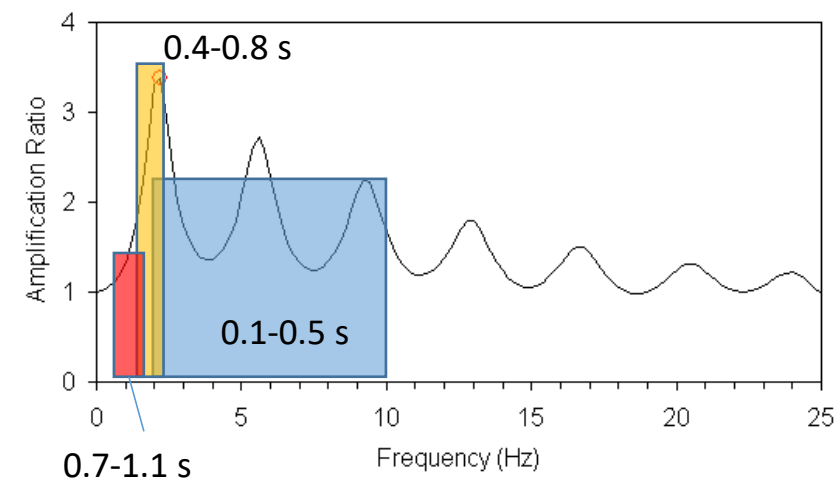
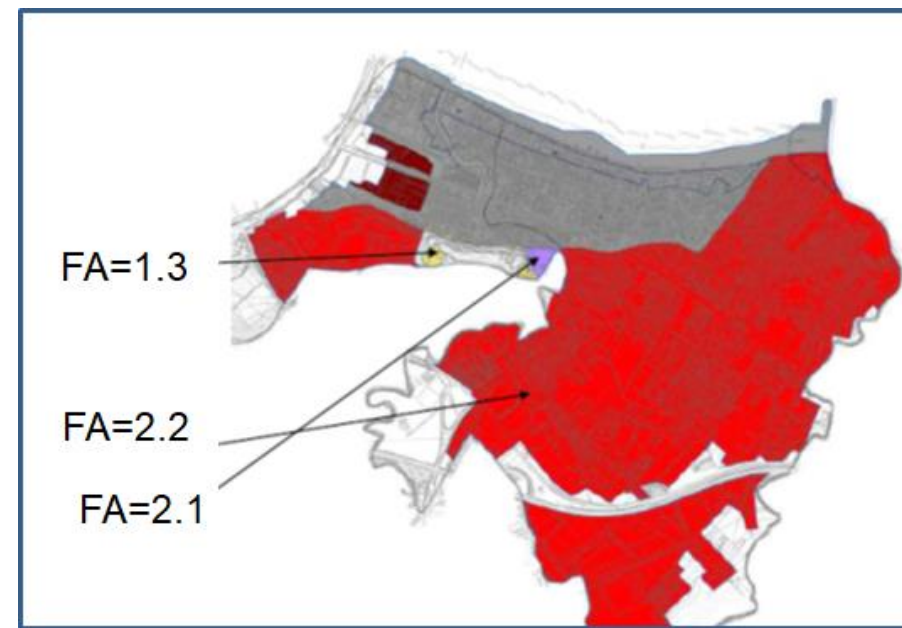
2. Livello II

dota la carta di primo livello di elementi quantitativi (fattori di amplificazione o FA) relativamente ai soli fenomeni di amplificazione lito-statigrafica 1D.

Queste stime vengono condotte a partire da misure geofisiche di superficie (HVSr, MASW, ecc.) e adottando modelli semplificati (1D) mediante l'uso di abachi

*Va notato che il fattore di amplificazione non è la funzione di amplificazione ma solo un valore integrale che denota l'effetto complessivo della situazioni stratigrafica su un **intervallo di periodi***

*Fornisce informazioni **sull'entità relativa dei fenomeni attesi** ma **non può essere applicato per la progettazione***



Gli abachi sono predisposti dall'autorità regionale e permettono di valutare i fattori di amplificazione attesi nei diversi intervalli di periodi a partire da pochi parametri (in particolare i valori di f_0 e di V_{s30}/V_{sH}) che possono misurati nella MOPS con tecniche geofisiche di superficie (MASW e HVSR) e determinati mediante procedure **inversione speditive**

FA calcolato per corti periodi ($0.1 < T < 0.5$ s)

		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	= 8	75° perc.
Vs30 (m/s)	<200	1.3	1.4	2.1							1.4
	300	1.2	1.4	1.7	1.7	1.8	1.5	1.5	1.1	1.7	1.4
	500	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4	1.2	1.5	1.3	1.2
	700	0.9	1.1	1.3			1.4	0.9	1.2	1.1	1.0
	=800	0.8	0.8								0.8

FA calcolato per lunghi periodi ($0.5 < T < 1$ s)

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	= 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.9	2.6	2.9							2.3
	300	1.5	1.9	1.9	1.6	1.6	1.6	1.5	1.1	1.9	1.6
	500	1.2	1.5	1.4	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.4	1.5			1.5	0.9	1.1	1.1	1.2
	=800	1.0	1.0								1.0

2. Livello III

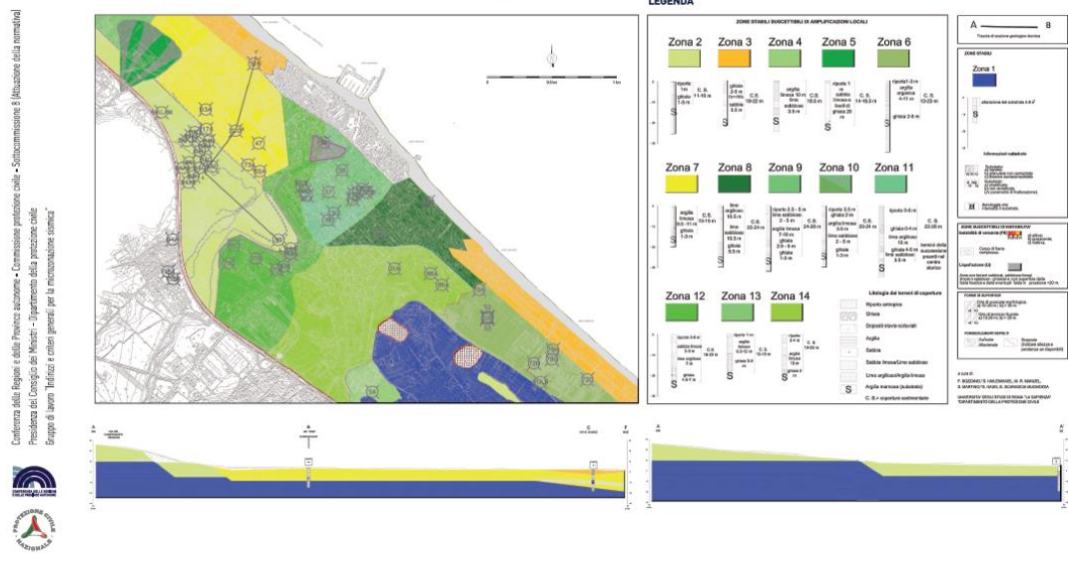
Si tratta del livello di analisi più avanzato ed impegnativo. Per le MOPS stabili soggette ad amplificazione aspira alla determinazione di uno spettro di risposta rappresentativo. Inoltre si occupa di tutte le aree dove i metodi di secondo livello sono producono risultati poco attendibili (situazioni 2D) e dove sono attesi fenomeni di instabilità o di deformazioni permanenti del suolo (frane e liquefazione)

*Per tutte le **MOPS stabili soggette ad amplificazione** viene richiesta la caratterizzazione quantitativa **sismostratigrafica** e **geotecnica** (spessori delle unità geologico-tecniche, profilo di Vs, curve di decadimento e smorzamento dei materiali), la definizione di sezioni sismostratigrafiche rappresentative ed il calcolo di spettri di risposta rappresentativi della specifica MOPS*

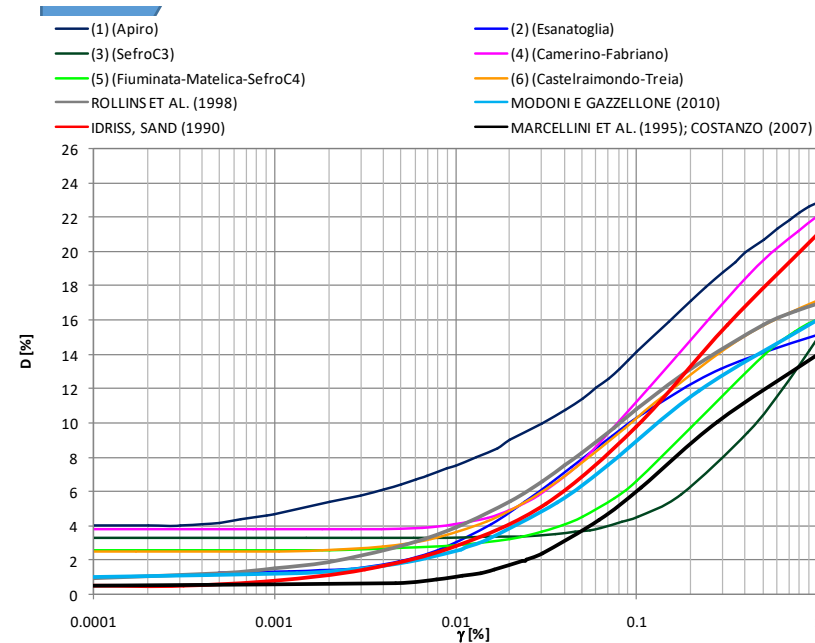
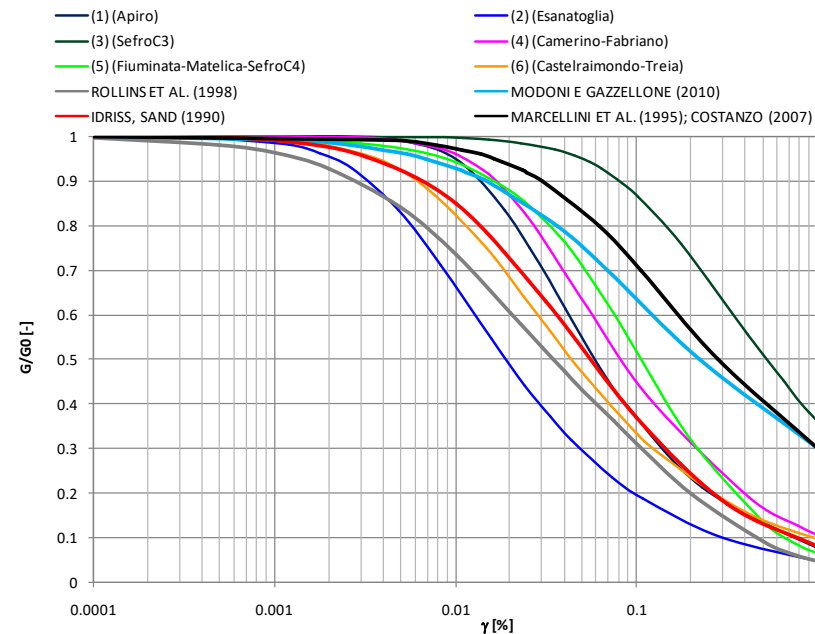
*Per le **MOPS Instabili** è prevista la determinazione di indici di pericolosità dedotti mediante specifiche misure in sito*

La realizzazione di una microzonazione sismica di **livello III** richiede

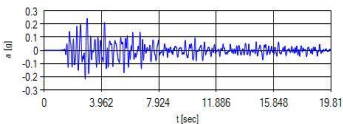
1. *La revisione ed l'aggiornamento della cartografia di livello I eventualmente disponibile e definizione del modello geologico del sottosuolo (in prospettiva sismica)*
2. *L'esecuzione di una estensiva campagna di indagini geofisiche di superficie finalizzate alla caratterizzazione sismostratigrafica delle MOPS*
3. *L'inversione quantitativa delle misure per la definizione dei profili di V_s rappresentativi fino al substrato sismico e relative incertezze*
4. *La modellazione della risposta sismica mediante la definizione di spettri di risposta rappresentativi delle diverse MOPS tenendo conto delle incertezze e della variabilità dei parametri sismostratigrafici all'interno delle singole MOPS*
5. *La realizzazione di una banca dati georeferenziata comprensiva delle informazioni raccolte*



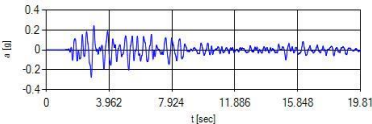
MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
2001			COS	FAAe	S			
2002	3	5	GM	Detrito di versante (MTIa)	TC			
	1	5	SFALS	s. fratturato (SAA2)	S			
			ALS	SAA2	SS	> 800		
2004	5	20	GM	Detrito di versante (MTIa)	TC	384	265	502
	1	5	SFALS	s. fratturato (SAA2)	S	800	700	900
			ALS	SAA2	SS	> 800		
2005	15	31	GW	Deposito alluvionale (ACbn)	TC	575	500	665
			COS	FAA	S	878	855	902
2006	3	10	CL	Deposito eluvio-colluviale (MUSb2)	TC	164	152	175
			COS, ALS, GRS	FAAe, FAA2, FAA2b	S	570	360	665
2008			ALS	FAA2	S	514	317	743
2009			GRS	FCOf, FAA2b	S	553	487	631
2010			ALS	SAA2, SAA3, VAS, SCC	SS	> 800		



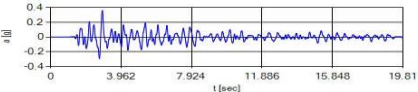
Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 4DirezioeX)



Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 6DirezioeX)

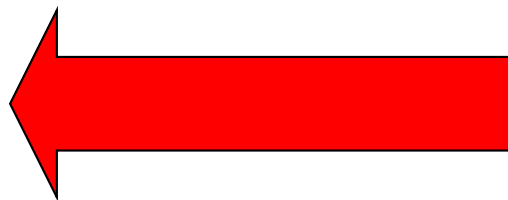
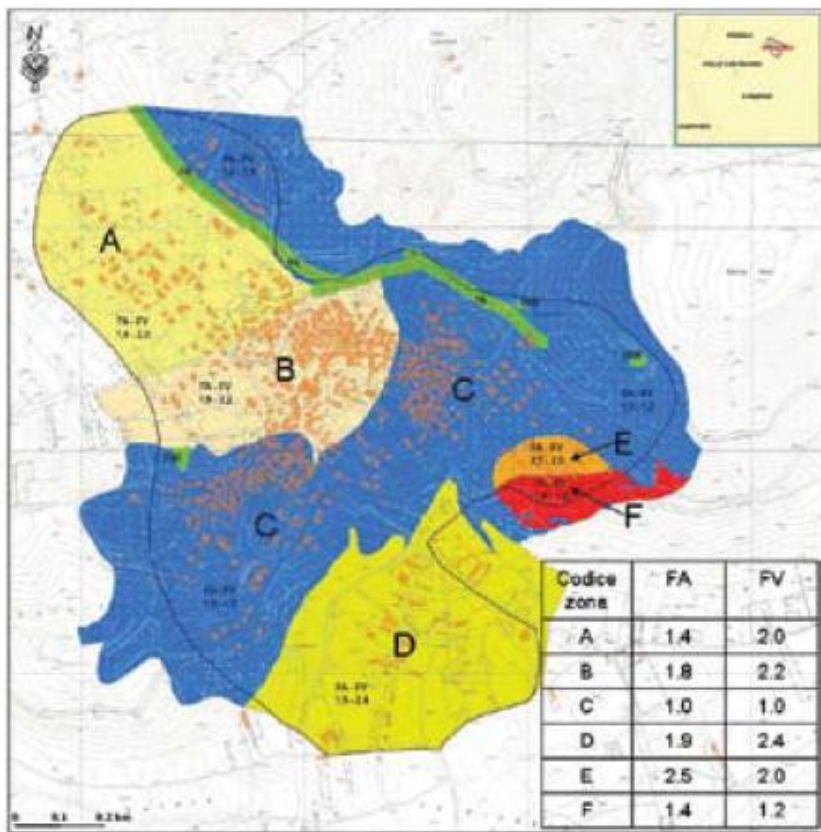
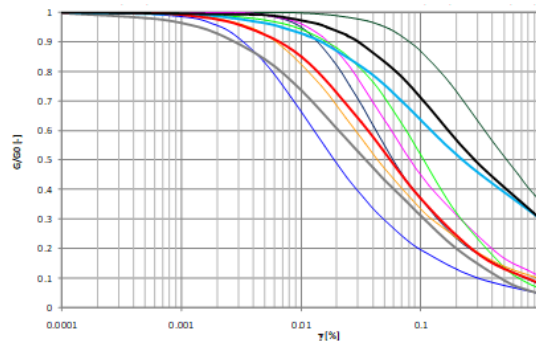


Accelerogramma Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 7DirezioeX)

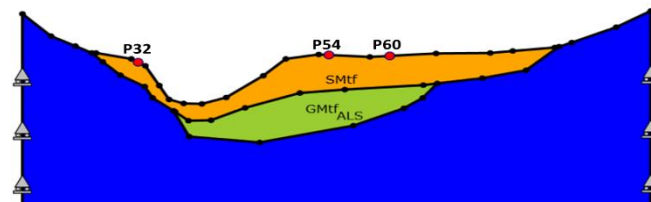
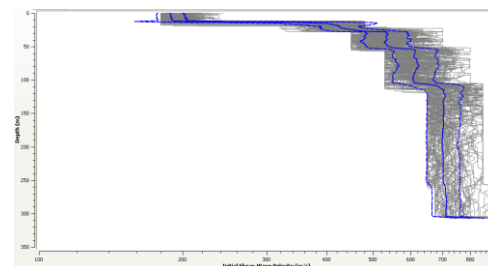


Definizione delle proprietà nelle diverse formazioni e relativa variabilità

MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_G1	SIGLA GEOL. o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
2001			COS	FAAe	S			
2002	3	5	GM	Detrito di versante (MTIa)	TC			
			SFALS	s. fratturato (SAA2)	S			
			ALS	SAA2	SS	> 800		
2004	5	20	GM	Detrito di versante (MTIa)	TC	384	265	502
			SFALS	s. fratturato (SAA2)	S	800	700	900
			ALS	SAA2	SS	> 800		
2005	15	31	GW	Deposito alluvionale (ACbn)	TC	575	500	665
			COS	FAA	S	878	855	902
2006	3	10	CL	Deposito eluvio-colluviale (MUSb2)	TC	164	152	175
			COS, ALS	FAAe, PAA2, FAA2b	S	570	380	885
2008			ALS	FAA2	S	514	317	743
2009			GRS	FCOf, FAA2b	S	553	487	631
2010			ALS	SAA2, SAA3, VAS, SCC	SS	> 800		



Simulazioni Numeriche 1D/2D



La **microzonazione sismica** è uno strumento di governo del territorio che deve essere utilizzato dalle Autorità Locali per le attività di riduzione del rischio attraverso opportune scelte strategiche riguardo alle attività di ricostruzione, consolidamento dell'esistente e pianificazione dell'emergenza

Essendo essenzialmente al servizio di scelte di politica territoriale, il suo contenuto va spiegato e condiviso con i cittadini per garantire la sostenibilità delle azioni pianificate e dei costi relativi

Gli esiti della Microzonazione Sismica, per quanto caratterizzati da standard assai elevati (spesso molto più avanzati di quelli utilizzati correntemente per lo studio della risposta sismica locale a fini di progettazione) **non possono** e **non devono** essere utilizzati per la progettazione in quanto validi solo arealmente e non puntualmente

Le modalità di implementazione dei risultati della Microzonazione Sismica con i suoi diversi livelli di approfondimento nei regolamenti urbanistici e dei loro rapporti con le NTEC08 sono attualmente in corso di definizione da parte delle Autorità Nazionali e Regionali