



Commissione tecnica per la microzonazione sismica
(articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907)

Microzonazione sismica

**Linee guida
per la gestione del territorio in aree interessate da
amplificazioni**

versione 2.0

Roma, 2022

Microzonazione sismica

Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione

Versione 2.0

A cura di

Massimo Baglione, Daniele Bottero, Fabrizio Bramerini, Sergio Castenetto, Iolanda Gaudiosi, Luca Martelli, Federico Mori, Massimiliano Moscatelli, Andrea Motti, Giuseppe Naso, Pierpaolo Tiberi, Daniele Spina

Con il contributo di

Pierangelo Fabbri, Vittorio D'Intinosante

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (*ex art. 5 OPCM 3907/2010*)

Mauro Dolce (DPC, Presidente), Walter Baricchi (Consiglio Nazionale degli Architetti Pianificatori Paesaggisti Conservatori), Fabrizio Bramerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC, segreteria tecnica), Enrico Rispoli (Collegio nazionale geometri), Giuseppe Ianniello (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti), Luca Veltri (UNCEM), Luca Martelli (Conferenza Unificata), Federico Cappotto (Consiglio nazionale dei Geologi), Giuseppe Naso (DPC), Antonio Ragonesi (ANCI), Raffaele Solustri (Consiglio nazionale degli Ingegneri), Elena Speranza (DPC)

Rappresentanti delle Regioni e delle Province autonome

Maria Basi (Regione Abruzzo), Alfredo Maffei (Regione Basilicata), Silvio Marsico (Regione Calabria), Ugo Ugati (Regione Campania), Luca Martelli (Regione Emilia - Romagna), Amanda Burelli (Regione Friuli-Venezia Giulia), Giacomo Catalano (Regione Lazio), Daniele Bottero (Regione Liguria), Alessandro Ballini (Regione Lombardia), Pierpaolo Tiberi (Regione Marche), Rossella Monaco (Regione Molise), Vittorio Giraud (Regione Piemonte), Tiziana Bisantino (Regione Puglia), Andrea Motti (Regione Umbria), Massimo Baglione (Regione Toscana), Massimo Broccolato (Regione Valle d'Aosta), Giuliano Fattoretto (Regione Veneto), Antonio Torrisi (Regione Sicilia), Mauro Zambotto (Provincia Autonoma di Trento), Claudio Carraro (Provincia Autonoma di Bolzano)

Hanno inoltre partecipato ai lavori della Commissione tecnica

Enrico Schiavon, Laura Magnabosco, Giuliano Basso (Regione Veneto), Antonio Colombi, Maria Carmela Notarmuzi (Regione Lazio), Marina Credali, Carlo Toffaloni (Regione Lombardia), Eugenio Di Loreto (Regione Lazio), Antonio Gerardi (Regione Lazio), Norman Natali (Regione Umbria), Isabella Trulli (Autorità di Bacino Puglia), Rocco Onorati (Regione Basilicata), Giuseppe Iritano (Regione Calabria), Giorgio Pipponzi (Regione Abruzzo), Adelaide Sericola (Regione Lazio)

L'attività di supporto e monitoraggio è svolta in accordo con CNR-IGAG (responsabile scientifico Gian Paolo Cavinato e Massimiliano Moscatelli)

Struttura tecnica di supporto

Maria Sole Benigni, Gianluca Carbone, Monia Coltella, Irene Di Giorgio, Margherita Giuffrè, Paola Imprescia, Andrea Pietrosante

Il presente documento ha utilizzato anche gli elaborati prodotti nell'ambito del

PON GOVERNANCE E CAPACITA' ISTITUZIONALE 2014-2020

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Struttura responsabile dell'attuazione del Programma

Fabrizio Curcio (responsabile), Eliana Mazzaro (supporto)

Immacolata Postiglione (delega funzioni specifiche)

Unità di coordinamento

Fabrizio Bramerini, Angelo Corazza, Luigi D'Angelo, Fausto Guzzetti, Francesca Romana Paneforte, Paola Stefanelli

Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolli, Andrea Duro, Emilio De Francesco, Marco Falzacappa, Domenico Fiorito, Pietro Giordano,

Antonella Gorini, Giuseppe Naso, Stefania Renzulli, Daniele Spina

Unità di raccordo DPC

Silvia Alessandrini, Sara Babusci, Pierluigi Cara, Patrizia Castiglione, Valter Germani, Maria Penna

Unità amministrativa e finanziaria

Valentina Carabellese, Francesca De Sandro, Susanna Gregori, Maria Cristina Nardella

Hanno fatto parte della struttura

Angelo Borrelli, Gabriella Carunchio, Luciano Cavarra, Pietro Colicchio, Biagio Costa, Lavinia Di Meo, Gianluca Garro, Antonio Gioia, Francesca Giuliani, Italo Giulivo, Fabio Maurano, Natale Mazzei, Agostino Miozzo, Paolo Molinari, Anna Natili, Roberto Oreficini Rosi, Lucia Palermo, Simona Palmiero, Ada Paolucci, Sara Petrinelli, Biagio Prezioso, Umberto Rosini, Marco Rossitto, Sisto Russo, Chiara Salustri Galli, Maria Siclari, Maurilio Silvestri, Gianfranco Sorchetti, Vincenzo Vigorita

REGIONI

Referenti

Basilicata: Claudio Berardi, Antonella Belgiovine, Maria Carmela Bruno, Cinzia Fabozzi, Donatella Ferrara, Cosimo Grieco, Guido Loperte (coordinatore), Alfredo Maffei, Pietro Perrone; Calabria: Fortunato Varone (coordinatore); Campania: Mauro Biafore (coordinatore), Claudia Campobasso, Luigi Cristiano, Emilio Ferrara, Luigi Gentilella, Maurizio Giannattasio, Francesca Maggiò, Celestino Rampino; Puglia: Tiziana Bisantino (coordinatore), Carlo Caricasole, Domenico Donvito, Franco Intini, Teresa Mungari, Fabrizio Panariello, Francesco Ronco, Zoida Tafila; Sicilia: Giuseppe Basile, Antonio Bruculeri, Aldo Guadagnino, Maria Nella Panebianco, Antonio Torrisi

Sono stati referenti

Basilicata: Alberto Caivano; Calabria: Giuseppe Iritano, Domenico Pallaria, Francesco Russo (coordinatore), Carlo Tansi, Luigi Giuseppe Zinno; Puglia: Giuseppe Tedeschi; Campania: Crescenzo Minotta; Sicilia: Nicola Alloruzzo

Affidamento di servizi del DPC al CNR-IGAG

Responsabile Unico del Procedimento: Mario Nicoletti

Direttore di Esecuzione Contrattuale: Fabrizio Bramerini

Referenti rischio sismico: Fabrizio Bramerini, Sergio Castenetto, Daniele Spina, Antonella Gorini, Giuseppe Naso

Referente rischio vulcanico: Stefano Ciolli

Referenti pianificazione di emergenza: Domenico Fiorito, Stefania Renzulli

CNR-IGAG (operatore economico rischio sismico e vulcanico)

Massimiliano Moscatelli (referente)

Struttura di coordinamento

Gianluca Carbone, Claudio Chiappetta, Francesco Fazio, Massimo Mari, Silvia Massaro, Federico Mori, Edoardo Peronace, Attilio Porchia, Francesco Stigliano (coordinatore operativo)

Struttura tecnica

Angelo Anelli, Massimo Cesarano, Eleonora Cianci, Stefania Fabozzi, Gaetano Falcone, Cora Fontana, Angelo Gigliotti, Michele Livani, Amerigo Mendicelli, Giuseppe Occhipinti, Federica Polpetta, Alessandro Settimi, Rose Line Spacagna, Daniel Tentori, Valentina Tomassoni

Struttura gestionale

Lucia Paciucci (coordinatrice gestionale), Francesca Argiolas (supporto gestionale), Federica Polpetta (supporto gestionale), Francesco Petracchini

Revisori

Emilio Bilotta, Paolo Boncio, Paolo Clemente, Maria Ioannilli, Massimo Mazzanti, Roberto Santacroce, Carlo Viggiani

Supporto tecnico-amministrativo

Francesca Argiolas, Patrizia Capparella, Martina De Angelis, Marco Gozzi, Alessandro Leli, Patrizia Mirelli, Simona Rosselli

Hanno fatto parte della struttura

Raffaella Ciuffreda, Giuseppe Cosentino, Melissa Di Salvo, Giovanni Di Trapani, Rosa Marina Donolo, Carolina Fortunato, Biagio Giaccio, Marco Modica, Marco Nocentini, Andrea Rampa, Laura Ragazzi, Gino Romagnoli, Paolo Tommasi, Vitantonio Vacca

Indice

| | |
|---|----|
| Premessa | 5 |
| PARTE PRIMA Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di amplificazione | 7 |
| 1 Definizioni | 7 |
| 2 Generalità | 8 |
| 3 Parametri quantitativi sintetici nelle zone suscettibili di amplificazione: i fattori di amplificazione | 9 |
| 4 Il parametro H_{SM} | 10 |
| 4.1 <i>Classificazione di H_{SM}</i> | 12 |
| 5 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di amplificazione | 14 |
| 5.1 <i>Studi di MS di livello 1 (Carta delle MOPS)</i> | 14 |
| 5.1.1 Modalità di perimetrazione e rappresentazione delle zone | 15 |
| 5.2 <i>Studi di MS di livello 2 e 3 (valori di FA, H_{SM} e Carta di MS)</i> | 15 |
| 5.2.1 Modalità di perimetrazione e rappresentazione delle zone | 15 |
| 5.3 <i>Studi di MS di livello 3 (SPETTRI di risposta)</i> | 16 |
| PARTE SECONDA Indicazioni per l'uso del suolo in zone di amplificazione | 17 |
| 6 Introduzione | 17 |
| 6.1 <i>Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da amplificazione</i> | 18 |
| 6.2 <i>Indicazioni per la disciplina d'uso</i> | 19 |
| 7 Indicazioni urbanistiche | 19 |
| 7.1 <i>Approfondimenti</i> | 19 |
| 7.2 <i>Valutazione e programmazione</i> | 20 |
| 8 Indicazioni edilizie | 20 |
| 8.1 <i>Livello 1 di MS</i> | 20 |
| 8.2 <i>Livelli 2 e 3 di MS (Supporto alla scelta dello spettro di elastico per la progettazione, adeguamento e miglioramento edifici privati)</i> | 20 |
| BIBLIOGRAFIA | 58 |

APPENDICI

1. Modalità di determinazione e rappresentazione delle zone suscettibili di amplificazione
2. Indicazioni e buone pratiche nella risposta sismica locale 1D (presentazione in ppt in allegato)
3. Indicazioni e buone pratiche in presenza di inversioni nel profilo di Vs (presentazione in ppt riportata in allegato)
4. Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS di livello 3.
5. FA e Spettri di risposta elastici medi in una microzona omogenea, possibili incongruenze
6. Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: approfondimenti
7. Schema di riferimento per la valutazione dell'operatività del sistema di emergenza di un Comune o di un Ambito Territoriale Omogeneo
8. Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: valutazioni del piano e programmazione
9. Esempi di analisi del danno sul territorio italiano
10. Rapporto del gruppo di lavoro sull'applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2

Premessa

Il presente documento è stato predisposto con la finalità di approfondire e integrare quanto indicato negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (ICMS, 2008) per la parte riguardante i fenomeni di amplificazione.

Il documento è stato redatto con la collaborazione di funzionari tecnici regionali, che hanno riportato le esperienze territoriali specifiche, di ricercatori universitari e di altri enti di ricerca. Nelle procedure si è anche fatto riferimento alle esperienze maturate negli ultimi terremoti che hanno interessato il nostro Paese (es. L'Aquila 2009; Emilia, 2012; Italia Centrale, 2016) e agli studi ad essi seguiti.

L'obiettivo principale di queste linee guida è definire i criteri generali e le procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali, per:

- raccogliere accurate informazioni sul rischio indotto dalla presenza di terreni suscettibili di amplificazione;
- mitigare il rischio nelle aree con previsioni di trasformazione;
- mitigare il rischio nelle aree edificate.

Le zone stabili suscettibili di amplificazione vengono identificate nello studio di MS di livello 1 e rappresentate sulla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). Secondo gli ICMS (2008), la Carta delle MOPS può essere redatta con l'utilizzo di dati pregressi, se sufficienti. Nella maggior parte dei casi i dati pregressi, in questo testo definiti “elementi informativi minimi”, consistono in informazioni di base quali la descrizione delle unità litologiche, i loro spessori, la profondità del substrato geologico, gli elementi geomorfologici di base, i livelli di falda rilevati durante le perforazioni, ecc. Queste informazioni, che identificano le zone omogenee nelle carte di livello 1 (Carta delle MOPS), sono fondamentali per la realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS, livello 2/3), ma solo se integrate con dati specifici e approfondimenti per la caratterizzazione dinamica dei terreni, propria di questi livelli di approfondimento (ICMS, 2008). Nella Carta di MS i fenomeni di amplificazione sono caratterizzati in maniera quantitativa con parametri sintetici (fattori di amplificazione) o con spettri di risposta elastici.

Le integrazioni agli ICMS (2008) proposte da queste linee guida riguardano principalmente:

- una nuova procedura di elaborazione di carte finalizzate alla mitigazione del rischio, introducendo un parametro sismico denominato H_{SM} che, a partire dai valori di FA (fattori di amplificazione) calcolati negli studi di MS e dalla pericolosità sismica di base del territorio indagato, stima il livello di pericolosità sismica “integrato” (pericolosità di base e effetti di amplificazione litostratigrafica) delle diverse parti del territorio, permettendo anche un confronto con analoghe stime ottenute in altre aree;
- definizione di una metodologia per la stesura delle cartografie di microzonazione sismica di livello 1, 2 e 3 in funzione delle informazioni acquisite sul modello geologico-tecnico di sottosuolo;
- modalità di utilizzo di valori di pericolosità sismica calcolati con analisi semplificate e avanzate per valutazioni sul rischio sismico, nota la vulnerabilità del costruito;
- una disciplina d'uso del territorio che tenga conto dei diversi livelli conoscitivi propri della MS per le zone stabili suscettibili di amplificazioni.

Con riferimento ai livelli di approfondimento, queste linee guida descrivono i risultati degli studi di MS di livello 1, 2 e 3 (Figura 1) utili per la definizione delle discipline d'uso del territorio interessato da potenziali amplificazioni.

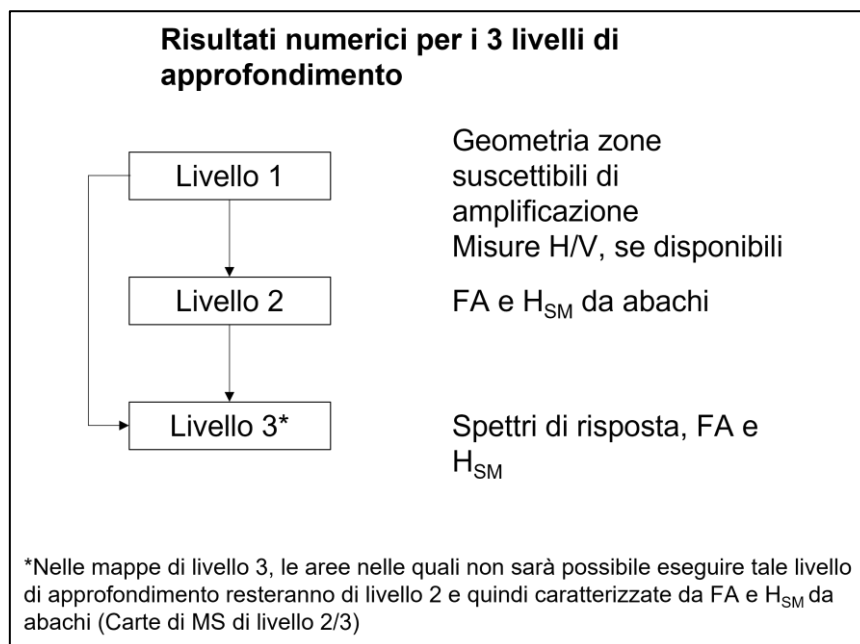


Figura 1 - Livelli di approfondimento e parametri numerici delle zone stabili suscettibili di amplificazioni

Il presente documento è costituito da due parti:

- PARTE PRIMA, nella quale si definisce il fenomeno fisico dell'amplificazione con l'introduzione di un parametro sismico (H_{SM}), e si descrive una procedura tecnico operativa per stabilire forma e dimensioni delle zone interessate dal fenomeno dell'amplificazione;
- PARTE SECONDA, nella quale si forniscono indicazioni per la disciplina d'uso del suolo nelle zone interessate dal fenomeno dell'amplificazione, sia dal punto di vista urbanistico, che dal punto di vista edilizio.

Nelle APPENDICI vengono riportate alcune elaborazioni utili per approfondire i temi e completare il testo principale.

Le presenti linee guida costituiscono un'integrazione e un approfondimento degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008) e vengono messe a disposizione delle Regioni e delle Province Autonome affinché ne favoriscano l'uso come strumento operativo e ne definiscano il livello prescrittivo.

PARTE PRIMA

Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di amplificazione

1 Definizioni

Abachi litostratigrafici. Metodologia semplificata che, sulla base di dati litostratigrafici (spessore dei terreni di copertura ovvero depositi di riempimento della valle o bacino, profondità e tipo di substrato), geotecnici e geofisici (velocità di propagazione delle onde S), permette la stima dell'amplificazione in superficie con fattori di amplificazione. L'utilizzo degli abachi è raccomandato per un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei e a comportamento viscoelastico.

Analisi di rumore sismico ambientale (o analisi dei microtrempi). Misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontale e verticale del rumore sismico ambientale (perturbazioni naturali o artificiali incoerenti causate da una varietà di fattori e di sorgenti distribuite). Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base dei terreni di copertura, non utilizzabile, quindi, come valore dell'amplificazione dello scuotimento sismico.

Fattore di amplificazione. Rapporto tra le ordinate degli spettri di risposta elastici in superficie e al substrato sismico, generalmente limitato a determinati *range* di periodi (es. 0.1-0.5 s)

Input sismico. Moto sismico ipotizzato alla base della struttura geologico-morfologica di un sito e della quale si intendono valutare i possibili effetti di amplificazione sismica in superficie.

Spettro a probabilità uniforme o spettro di pericolosità di base. Spettro di pseudoaccelerazione o di pseudovelocità o di spostamento, derivato da un'analisi di pericolosità di base con metodologie probabilistiche, i cui punti hanno tutti la stessa probabilità di accadimento.

Spettro di risposta elastico. Curva su un piano cartesiano che mostra la risposta massima di un insieme di oscillatori semplici armonici, smorzati, di frequenze naturali differenti, ad una particolare registrazione dell'accelerazione al suolo di un terremoto. Gli spettri di risposta possono mostrare l'accelerazione, la velocità o lo spostamento relativo dell'oscillatore in funzione della frequenza (dell'oscillatore) propria per vari livelli di smorzamento.

Substrato geologico e substrato sismico. Il substrato geologico è una roccia compatta, rigida, non alterata, in affioramento o alla base di rocce/terreni meno rigidi o di sedimenti sciolti. Usato comunemente dai geologi per riferirsi a qualsiasi roccia/terreno diagenizzata/consolidato che non ha subito i processi meteorici di alterazione e degrado o deformazioni tettoniche pervasive. Il substrato sismico è invece un orizzonte in profondità utilizzato da coloro che operano analisi di simulazione numerica per definire la collocazione in profondità dell'input sismico; in questo caso è una sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_s almeno doppia rispetto a quella dei terreni di copertura, per lo più maggiore o uguale a 800 m/s. Il substrato geologico può coincidere con il substrato sismico.

2 Generalità

A seguito di un evento sismico, l'osservazione dei danni alle costruzioni e alle infrastrutture spesso evidenzia differenze sostanziali anche a piccole distanze oppure crolli e danni notevoli a grandi distanze dall'epicentro. Sicuramente la differente qualità delle costruzioni influisce sulle differenze del danno, ma spesso le cause vanno ricercate in effetti di amplificazione del moto sismico.

Il moto sismico alla superficie di un sito, in condizioni di campo libero (*free-field*), dipende da un insieme di fattori che, schematicamente, possono essere raggruppati in tre categorie fondamentali:

- meccanismo di sorgente (caratteristiche geometriche e cinematiche della faglia responsabile del terremoto);
- modalità di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito (ovvero le proprietà fisico-meccaniche delle rocce della crosta superiore attraversate dalle onde);
- modificazioni del moto sismico (amplificazioni del moto sismico) dovute alle condizioni geologiche, geomorfologiche, geotecniche, geofisiche locali.

Il moto sismico in superficie, che già porta con sé gli effetti di sorgente e di propagazione, può subire importanti modifiche a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni del sito (riflessioni multiple, diffrazione, focalizzazione, risonanza, ecc.). Tali condizioni sono responsabili delle modifiche del segnale sismico di base in termini di ampiezza, contenuto in frequenza e durata.

Le condizioni del sito (condizioni locali) riguardano:

- le caratteristiche geometriche (geometria dei limiti tra substrato e terreni di copertura e tra terreni di copertura a differente rigidità);
- le caratteristiche geomorfologiche (topografia anche in relazione all'assetto geologico dei rilievi);
- le caratteristiche geotecniche e geofisiche del sito, in particolare le caratteristiche litologiche e di rigidità dei terreni di copertura (nel prosieguo del testo si ipotizza che i terreni di copertura abbiano sempre rigidità minore del substrato).

Sinteticamente, quindi, la risposta sismica in superficie dipende da varie tipologie di effetti che, a seconda dell'assetto del sottosuolo, si possono distinguere in:

- effetti dovuti a differenze litologiche e/o di rigidità tra i terreni della successione litostratigrafica (effetti monodimensionali);
- effetti di bordo di valle, costituita da rocce del substrato (es. calcari) e riempita di terreni di copertura più soffici (es. argille, sabbie, limi); effetti dovuti alla presenza di elementi geologici sepolti quali paleoalvei, terrazzi fluviali, strutture tettoniche; effetti dovuti alla presenza sui versanti di conoidi o corpi detritici (effetti bidimensionali);
- effetti geomorfologici dovuti a forme del paesaggio con topografia positiva, come cime, creste, orli di terrazzi fluviali o marini, scarpate morfologiche o tettoniche, ecc. (effetti bidimensionali);
- effetti geomorfologici dovuti a forme del paesaggio con topografia negativa, come valli in roccia non riempite da terreni soffici, ecc. (effetti bidimensionali).

3 Parametri quantitativi sintetici nelle zone suscettibili di amplificazione: i fattori di amplificazione

Sulla base di dati litostratigrafici (es. spessore delle coperture, profondità e tipo di substrato, ecc.), geotecnici e geofisici (es. velocità di propagazione delle onde S nell'intervallo di copertura considerato, ecc.) acquisiti con indagini di tipo corrente, sono state definite procedure che permettono la caratterizzazione sismica quantitativa del territorio. In particolare, sono stati definiti FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (FA) che quantificano in modo sintetico i possibili effetti di amplificazione del moto sismico superficiale indotti localmente dalle specifiche situazioni litostratigrafiche e SPETTRI DI RISPOSTA elastici.

Una generica definizione del parametro di amplificazione FA per le accelerazioni è quella riportata nell'equazione (1):

$$FA = \frac{\int_{T_a}^{T_b} S_a dT}{\int_{T_a}^{T_b} S_b dT} \quad (1)$$

dove

S_a è la pseudoaccelerazione alla superficie del sito in studio;

S_b è la pseudoaccelerazione al sito di riferimento (substrato sismico);

T_a e T_b rappresentano gli estremi degli intervalli dei periodi di vibrazione di interesse.

I FA possono essere determinati utilizzando metodi semplificati, quali abachi litostratigrafici¹, o metodi avanzati, quali simulazioni numeriche (ICMS, 2008). I valori di FA forniscono indicazioni di tipo “relativo”, nel senso che valutano l'eventuale aggravio indotto dalle condizioni locali al moto sismico atteso nelle singole microzone omogenee, ma non danno indicazioni riguardo il livello “assoluto” di pericolosità sismica nelle aree analizzate.

Tra i parametri di amplificazione, potrà essere inserito anche F_t (amplificazione topografica).

Una modalità di calcolo delle amplificazioni in superficie con metodi avanzati prevede la realizzazione di simulazioni numeriche che, partendo dal moto su un substrato sismico e valutando gli effetti dei terreni di copertura sulle onde sismiche che viaggiano verso la superficie, definiscono lo scuotimento in superficie. Le simulazioni numeriche possono essere monodimensionali (1D) e bi-tridimensionali (2D-3D).

Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o con simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore di FA uguale a 1.0.

Negli ICMS (2008), le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (FA e FV), da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV). Alcune Regioni, per caratterizzare le zone soggette ad amplificazione, hanno proposto altri parametri sintetici. Nella Tabella 1 si riassumono i parametri di amplificazione più frequentemente utilizzati in ambito regionale.

¹ Per approfondimenti, si rimanda al rapporto del GdL “Abachi” sulle condizioni di applicabilità e limiti degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2 (v. Appendice 10)

| Parametro | Descrizione |
|-----------|--|
| FA | Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS (2008) |
| FV | Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS (2008) |
| Ft | Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS (2008) |
| FH0105 | Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner (in pseudovelocità) nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s |
| FH0510 | Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner (in pseudovelocità) nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s |
| FA0105 | Valore del fattore di amplificazione calcolato in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s |
| FA0510 | Valore del fattore di amplificazione calcolato in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s |
| FA0408 | Valore del fattore di amplificazione calcolato in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s |
| FA0711 | Valore del fattore di amplificazione calcolato in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s |
| FPGA | Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA |

Tabella 1 – Fattori di amplificazione

Le metodologie di calcolo dei FA, con metodi semplificati e avanzati, sono state ampiamente descritte negli ICMS (2008), ai quali si rimanda per approfondimenti.

Si ricorda che negli studi MS l'amplificazione e il moto sismico atteso sono solitamente stimati considerando un periodo di ritorno, TR, di 475 anni.

4 Il parametro H_{SM}

Dall'analisi delle procedure di utilizzo dei FA previste in numerose normative regionali, emergono alcune considerazioni:

- i FA non rappresentano in maniera “completa” la pericolosità sismica reale di un'area e non permettono eventuali confronti tra aree diverse anche nell'ambito di uno stesso Comune, se molto esteso;
- i FA sono calcolati in modo diverso nelle diverse realtà regionali (vedi Tabella 1), utilizzando sia spettri in accelerazione che in velocità;
- gli intervalli di periodi sui quali si calcolano i FA sono prevalentemente due: 0.1-0.5s e 0.5-1.0s;
- per alcune microzone (nella stessa carta di MS) i FA sono calcolati con l'utilizzo di abachi (sottosuolo non complesso, livello 2), in altre con metodi avanzati (sottosuolo complesso, livello 3), con livelli di incertezza differenti.

Alla luce di tali considerazioni, emerge la difficoltà, utilizzando i soli valori di FA, di definire una disciplina d'uso omogenea per tutto il territorio nazionale e le conseguenti modalità di intervento ai fini della mitigazione degli effetti, non potendo far riferimento ad un parametro di pericolosità sismica che consenta la confrontabilità dei valori. Si è reso necessario, pertanto, definire un nuovo parametro di pericolosità che possa:

- permettere di stabilire una graduatoria “assoluta” di pericolosità sismica, integrando la pericolosità di base con l'amplificazione attesa;
- essere riconducibile a classi discrete, definite, se possibile, con riferimento a processi fisici osservabili;
- limitare il numero di classi nelle carte di MS.

Il nuovo parametro sintetico proposto è denominato H_{SM} (H=Hazard, SM Seismic Microzonation)² e ha come caratteristica più importante la confrontabilità a scala regionale e nazionale della pericolosità sismica di base integrata con l'amplificazione locale.

H_{SM} è definito per ogni classe di intervalli di periodo come:

$$H_{SM} = FA_{Tn} * \left(\frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \right) \quad (2)$$

con

ASI_{UHS} *Acceleration Spectrum Intensity* (Von Thun et al., 1988), ovvero il valore integrale dello Spettro a Probabilità Uniforme (UHS, Uniform Hazard Spectrum), che deriva dagli studi della pericolosità sismica di base (GdL MPS, 2004), per $TR=475$ anni, nel relativo intervallo di periodo T_n ($T_1=0.1-0.5s$; $T_2=0.4-0.8s$; $T_3=0.7-1.1s$);

FA_{Tn} Fattore di Amplificazione, calcolato con metodi semplificati o avanzati, negli intervalli di periodo T_n e mediante un input sismico (S_b in fig. 1) congruo con lo spettro a Probabilità Uniforme della pericolosità di base.

ΔT Ampiezza dell'intervallo di integrazione (0.4 s);

n 1, 2, 3

H_{SM} è quindi funzione del rapporto $ASI_{UHS} / \Delta T$, e dunque dell'accelerazione spettrale media nell'intervallo di periodo considerato, di ampiezza costante e pari a 0.4 s, e del coefficiente FA_{Tn} che è il FA degli studi di MS (livelli 2 e 3) nello stesso intervallo di periodo.

Gli intervalli di periodo T_n sono stati definiti anche sulla base di quanto sperimentato e applicato negli studi di MS in Italia Centrale, a seguito degli eventi del 2016. In tale occasione è stato proposto l'uso di 3 diversi FA, che corrispondono agli integrali degli spettri di risposta in accelerazione in 3 intervalli di periodi di vibrazione: $0.1s \leq T_1 \leq 0.5s$; $0.4s \leq T_2 \leq 0.8s$; $0.7s \leq T_3 \leq 1.1s$. Esprimendo il periodo proprio di un edificio ordinario come approssimativamente pari a $T \approx 0.08 \div 0.1 N_{piani}$, questi intervalli possono approssimativamente corrispondere a diversi range di numero di piani degli edifici.

In Figura 2 è riportato lo schema sintetico delle modalità di calcolo di H_{SM} .

² Si utilizza la notazione in inglese perché il parametro è stato presentato in pubblicazioni su letteratura internazionale.

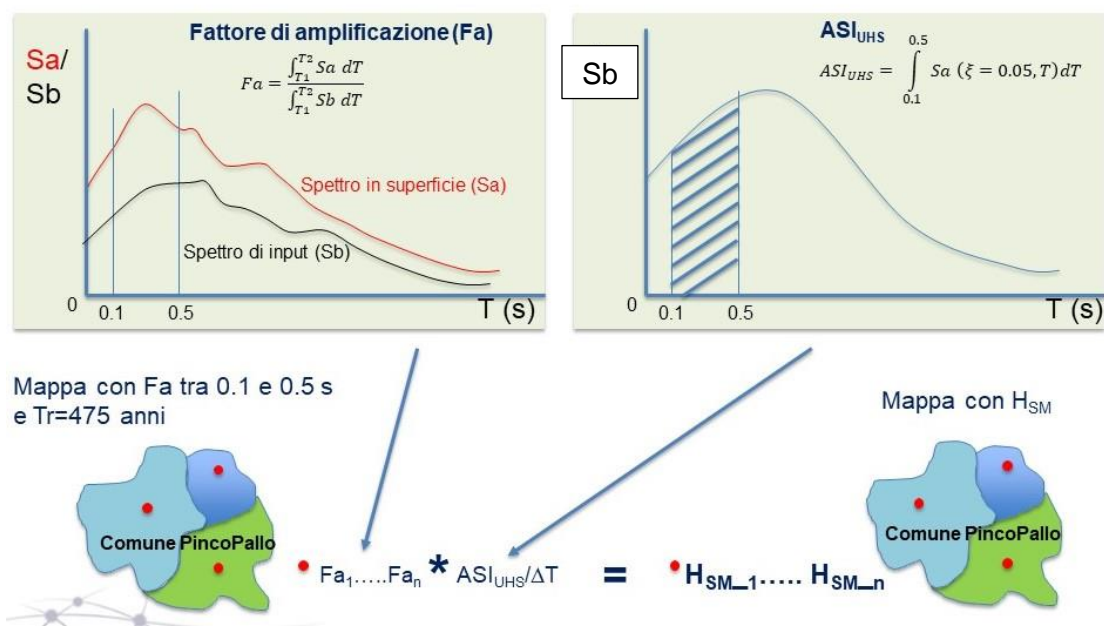


Figura 2 - Esempio di calcolo di H_{SM} per un intervallo T tra 0,1 e 0,5s.

4.1 Classificazione di H_{SM}

Al fine di ricondurre l'insieme delle microzone sismiche ad ambiti omogenei di comportamento sismico e, quindi, al fine di favorire anche il processo di definizione delle strategie e delle modalità di mitigazione del rischio, si è ritenuto opportuno stabilire delle classi di valori di H_{SM} , da attribuire alle microzone stesse.

Le classi proposte si basano su scale di intensità macrosismica, MCS (Sieberg, 1930) ed EMS-98 (Grunthal, 1998), costruite su ipotesi di ingegneria delle strutture e collegate al danno degli edifici, che si adattano bene allo scopo di utilizzo del parametro H_{SM} come indicatore di pericolosità sismica per fini urbanistici.

Non esistendo una relazione diretta tra le scale macrosismiche e H_{SM} , si è deciso di utilizzare la Peak Ground Acceleration (PGA) come parametro di collegamento.

I dati sperimentali utilizzati per validare la proposta di classificazione di H_{SM} sono anch'essi legati al danno degli edifici; questo rafforza la scelta di utilizzare le scale macrosismiche come riferimento per costruire le classi.

La Figura 3 mostra un diagramma di flusso che descrive la metodologia di definizione e di validazione delle classi H_{SM} .

La definizione è basata su relazioni di letteratura tra la scala di Intensità macrosismica MCS (Sieberg, 1930) e la PGA e su una relazione tra PGA e H_{SM} , costruita *ad hoc*.

La procedura di validazione si basa invece su dati sperimentali di risposta sismica di edifici durante eventi reali. Elaborando tali dati sono state ottenute relazioni empiriche tra H_{SM} e la misura sperimentale di un parametro di danno fisico (spostamento di interpiano, MIDR) che sono state infine utilizzate per calibrare e convalidare i valori delle soglie delle classi.

In Mori et al. (2020) è riportata la metodologia di dettaglio della costruzione delle classi.

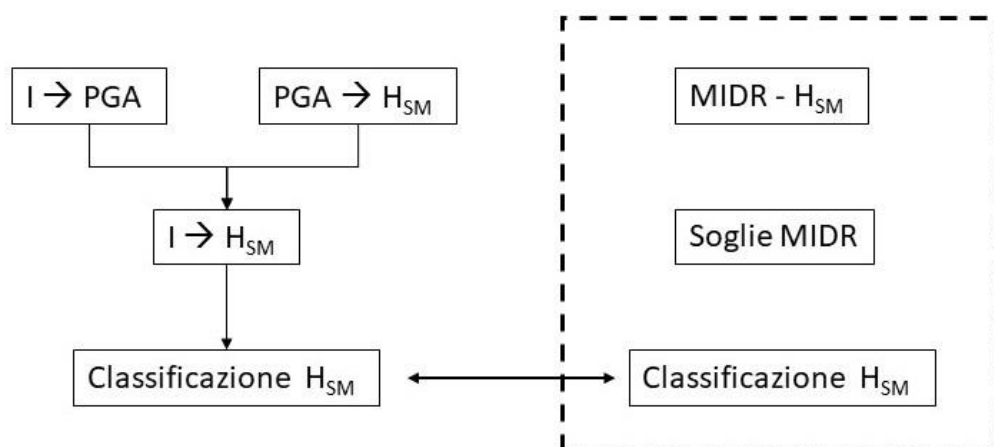


Figura 3 – Metodologia di definizione delle soglie delle classi di H_{SM} e validazione

In tabella 2 è riportata la classificazione di H_{SM} .

| Intervalli di periodo | Classificazione $H_{SM}[g]$ | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
| | Basso ($ZS4_{SM}$) | Medio ($ZS3_{SM}$) | Alto ($ZS2_{SM}$) | Molto alto ($ZS1_{SM}$) |
| $T1_{(0.1-0.5)}$ | ≤ 0.21 | 0.22-0.54 | 0.55-0.85 | ≥ 0.86 |
| $T2_{(0.4-0.8)}$ | ≤ 0.14 | 0.15-0.34 | 0.35-0.55 | ≥ 0.56 |
| $T3_{(0.7-1.1)}$ | ≤ 0.09 | 0.10-0.22 | 0.23-0.35 | ≥ 0.36 |

Tabella 2 – Classificazione di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo.

Le Regioni possono introdurre sottoclassi operando ulteriori distinzioni entro i limiti delle classi della Tabella 2.

In Figura 4, si riporta un esempio di mappe di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo citati.

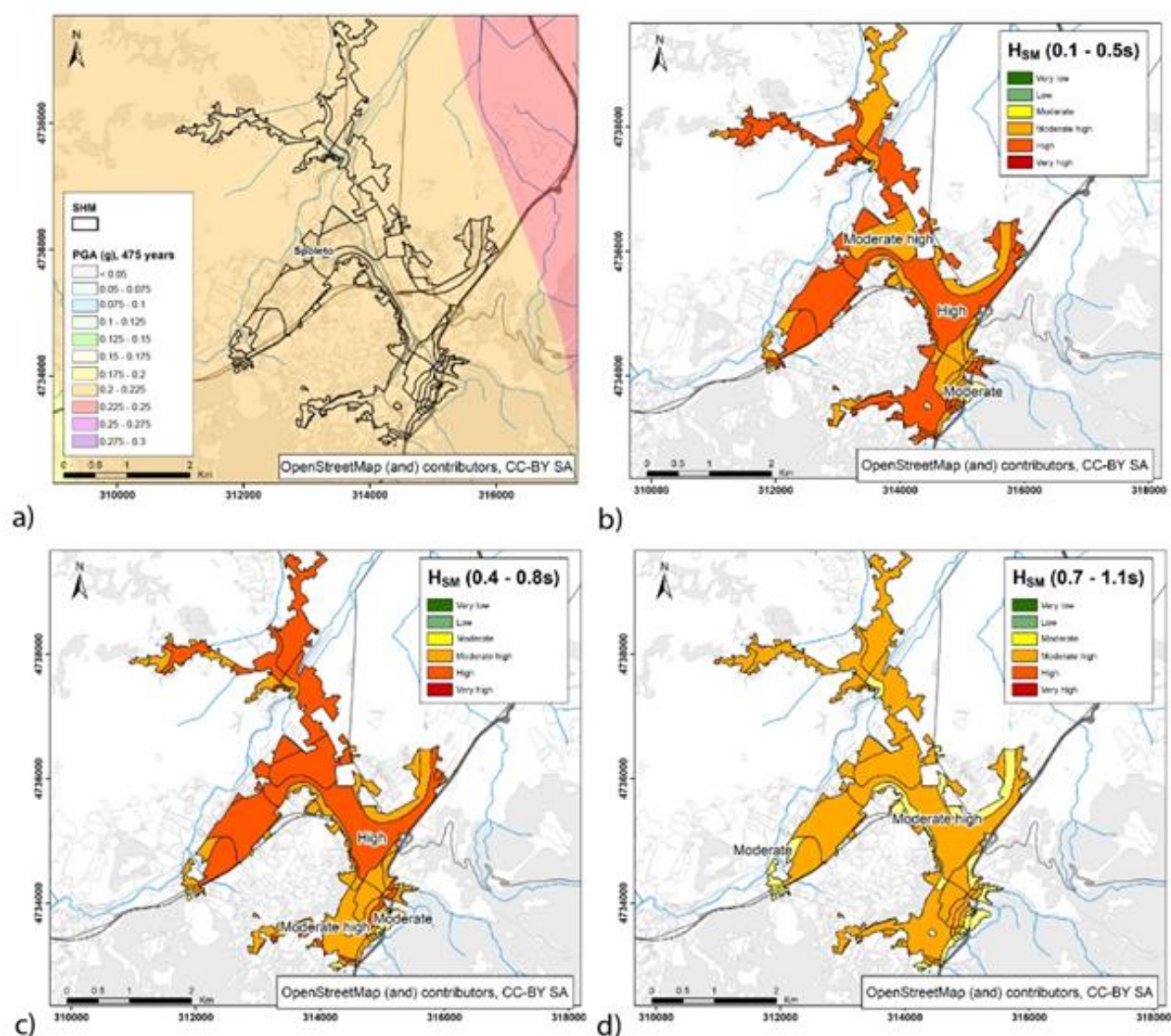


Figura 4 – Esempi di mappe di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo: a) mappa della PGA di riferimento (g) per un tempo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di eccedenza in 50 anni), b) H_{SM} a 0.1 - 0.5s, c) 0.4 – 0.8s, d) 0.7 – 1.1s.

5 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di amplificazione

5.1 Studi di MS di livello 1 (Carta delle MOPS)

Il livello 1 di MS, basato sull'utilizzo di “elementi informativi minimi”, consente di identificare le zone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), distinguendo zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione e zone suscettibili di instabilità. Il livello 1, individuando le zone stabili con amplificazioni, consente di descrivere solo qualitativamente il fenomeno dell'amplificazione, mentre è con i livelli di approfondimento successivi (livelli 2 e/o 3) che l'amplificazione viene quantificata, rendendo possibile la classificazione delle zone in funzione della pericolosità.

Qualora siano disponibili per le microzone risultati di campagne di misure H/V, si potranno trarre indicazioni sui periodi fondamentali di vibrazione dei terreni utili per programmare le ulteriori indagini.

5.1.1 Modalità di perimetrazione e rappresentazione delle zone

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) è costruita sulla base degli elementi informativi minimi. Le basi topografiche utilizzate per la rappresentazione della carta, in formato raster o vettoriale, dovranno essere a scala 1: 10.000 o superiore.

Le zone suscettibili di amplificazione si identificano sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e, se disponibili, sulla base dei valori di H/V misurati attraverso campagne geofisiche. In particolare, ciascuna zona verrà identificata da un colore e un numero (20XY) e sarà caratterizzata dalla successione litostratigrafica che meglio rappresenta il sottosuolo della microzona.

Nella legenda della carta, accanto al simbolo e al codice, sarà riportata anche una descrizione della microzona omogenea, che sarà una sintesi di quella, più dettagliata, riportata nella Relazione illustrativa. In questa Relazione saranno riportate anche le colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzona alla quale fanno riferimento, archiviate nella Tabella indagini, nella classe “Elaborazioni”, associate al baricentro della microzona (vedi Standard MS versione 4.2).

Gli studi di livello 1, sulla base della complessità geologico tecnica del territorio esaminato, indirizzano gli approfondimenti successivi e consentono di stabilire in quali aree sia possibile procedere ad approfondimenti di livello 2 (metodi semplificati) o ad approfondimenti di livello 3 (metodi avanzati). In Appendice 1 viene descritta in dettaglio una procedura operativa per la definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica e la successiva perimetrazione, a partire dalle informazioni desunte dalla CGT.

5.2 Studi di MS di livello 2 e 3 (valori di FA, H_{SM} e Carta di MS)

I livelli 2 e 3 di MS consentono di caratterizzare in maniera quantitativa le zone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) definite nel livello 1. Il livello 2 consente, attraverso l'utilizzo di abachi, di calcolare l'amplificazione con parametri sintetici (FA), mentre il livello 3 oltre ai FA calcolati con simulazioni numeriche, consente di descrivere quantitativamente l'amplificazione anche con spettri di risposta elastici. Quindi il risultato di entrambi i livelli è un FA, che, moltiplicato allo spettro UHS (formula 2), consentirà di calcolare H_{SM} . Ovviamente i livelli di incertezza del FA del livello 2 sono molto più alti di quelli del FA del livello 3.

5.2.1 Modalità di perimetrazione e rappresentazione delle zone

Gli ICMS (2008) suggeriscono, nell'ambito degli approfondimenti di livello 2, la costruzione di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di Fattori di Amplificazione (FA). Gli abachi sono rappresentativi di assetti litostratigrafici semplificati e sono sviluppati con la finalità di consentirne un utilizzo quanto più possibile diffuso per finalità pianificatorie (vedi Appendice 10).

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 3 le amplificazioni vengono valutate attraverso analisi numeriche 1D o 2D a seconda della complessità del contesto nel quale è realizzato lo studio.

Nella Carta di MS dovrà essere riportato il parametro che quantifica l'amplificazione indicato dalla Regione e il valore di H_{SM} , sia se calcolato con gli abachi, sia se calcolato con gli spettri di risposta secondo lo schema di Tabella 2.

Si evidenzia, come riportato nel paragrafo 2.4.1 degli ICMS (2008), che le geometrie delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, definite nella Carta delle MOPS, nella stesura delle Carte di MS, a seguito degli approfondimenti possono essere modificate.

In Appendice 1 viene descritta in dettaglio una procedura operativa per la definizione e successiva rappresentazione cartografica delle microzone relative alla cartografia di livello 2 in relazione al modello geologico-tecnico di sottosuolo ed in funzione all'applicazione dei relativi abachi.

5.3 Studi di MS di livello 3 (spettri di risposta)

Gli studi di livello 3 prevedono, tra i risultati, la definizione di almeno uno spettro di risposta elastico per ciascuna microzona.

Come già evidenziato nel paragrafo precedente gli spettri di risposta permettono di calcolare, con livelli di incertezza minori rispetto all'utilizzo degli abachi, il parametro H_{SM} che sarà riportato nella Carta di MS.

Gli spettri di risposta rappresentativi delle microzone possono essere utilizzati anche come riferimento dell'azione sismica per la progettazione, miglioramento o adeguamento sismico di singoli manufatti o, più generalmente, per valutazioni sulla vulnerabilità del costruito (vedi PARTE SECONDA).

In merito al problema della valutazione delle amplificazioni, in APPENDICE sono riportati i seguenti approfondimenti:

- A1 - Modalità di determinazione e rappresentazione delle zone suscettibili di amplificazione
- A2 - Indicazioni e buone pratiche nella risposta sismica locale 1D (presentazione in ppt in allegato)
- A3 - Indicazioni e buone pratiche in presenza di inversioni nel profilo di V_s (presentazione in ppt riportata in allegato)
- A4 - Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di livello 3.
- A5 - FA e Spettri di risposta elastici medi in una microzona omogenea, possibili incongruenze
- A10 - Rapporto del gruppo di lavoro sull'applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2

PARTE SECONDA

Indicazioni per l'uso del suolo in zone di amplificazione

6 Introduzione

Con le presenti linee guida viene completato l'impianto di indirizzi e criteri per la disciplina d'uso del suolo a seguito della realizzazione degli studi di microzonazione sismica. Tali indirizzi comprendono la disciplina d'uso per le zone instabili (faglie, liquefazioni, instabilità di versante e densificazioni) e, adesso, anche per le zone suscettibili di amplificazione. Si evidenzia che alcune analisi e, più in generale, alcune strategie di mitigazione del rischio sismico, in questo modo, sono possibili proprio perché il territorio urbanizzato e urbanizzabile è stato indagato senza soluzione di continuità. Pertanto, obiettivi specifici, relativi a sistemi complessi e a funzioni dislocate sul territorio, possono essere analizzati e valutati senza le limitazioni dovute a conoscenze parziali della risposta sismica sul territorio. Inoltre, essendo stato avviato un percorso di standardizzazione delle conoscenze sulla microzonazione sismica su tutto il territorio, è possibile analizzare e valutare sistemi e funzioni anche tenendo conto del loro ruolo territoriale extra comunale, ossia per ambiti territoriali ottimali³, in coerenza con quanto indicato dal Dlgs sulla protezione civile del 2018.

Nella Tabella 3, con riferimento ai livelli degli studi di MS, sono riportate sinteticamente le indicazioni per la disciplina d'uso e le elaborazioni e prodotti associati.

| | Livello 1 | Livello 2 | Livello 3 |
|---------------------------------|--|--|---|
| Indicazioni Urbanistiche | <ul style="list-style-type: none"> • necessità approfondimento (MS livello 2 e 3) • necessità individuazione Sistema Gestione Emergenza (SGE)⁴ • Adozione altri obiettivi di mitigazione | <ul style="list-style-type: none"> • necessità valutazione operatività SGE • Valutazione e programmazione degli obiettivi adottati | <ul style="list-style-type: none"> • necessità valutazione operatività SGE • Valutazione e programmazione degli obiettivi adottati |
| Indicazioni Edilizie | <ul style="list-style-type: none"> • Indicazioni per le indagini e analisi a supporto della progettazione sulla base del modello geologico, geotecnico e geofisico e delle MOPS | <ul style="list-style-type: none"> • Scelta tra approccio semplificato-analisi specifiche (NTC, 2018) | <ul style="list-style-type: none"> • Scelta tra approccio semplificato-analisi specifiche (NTC, 2018) • Confronto tra spettri e possibile utilizzo diretto per la definizione dell'azione sismica in fase di progettazione |
| Elaborazioni | <ul style="list-style-type: none"> • Carta indagini • Carta GeoTec • MOPS • Analisi CLE | <ul style="list-style-type: none"> • F_{PGA} (o PGA al sito) • H_{SM} da abachi specifici della microzona • FA₀₁₀₅, FA₀₄₀₈, FA₀₇₁₁ | <ul style="list-style-type: none"> • F_{PGA} (o PGA al sito) • Spettri di risposta • H_{SM} da spettri specifici della microzona • FA₀₁₀₅, FA₀₄₀₈, FA₀₇₁₁ • Azione sismica (progetto) |

³ L'Ambito Territoriale Omogeneo (ATO) previsto dal Codice di protezione civile (D.Lgs. 1/2018) è costituito da un insieme di comuni, con la particolarità di avere un sistema organizzativo-gestionale definito.

⁴ Per sistema di gestione dell'emergenza di un determinato ambito territoriale, si intende l'insieme degli elementi strutturali definiti dagli (i) edifici strategici finalizzati all'espletamento delle condizioni minime per la gestione dell'emergenza (coordinamento degli interventi, soccorso sanitario e intervento operativo); dalle (ii) aree di ammassamento e dalle (iii) aree di ricovero minime indispensabili; dalle (iv) infrastrutture di connessione fra gli elementi precedentemente elencati, tali da configurare un sistema a rete, e dalle infrastrutture di accessibilità principali a tale rete. (riferimenti normativi: OCDPC 537/2018 articoli 18 e 22)

| | | | |
|---|---|--|--|
| Prodotti specifici attesi di particolare rilevanza | <ul style="list-style-type: none"> • MOPS • CLE • Individuazione sistemi relativi agli obiettivi prescelti | <ul style="list-style-type: none"> • Mappa H_{SM} • IOpàCLE • IOATO • Mappe di rischio (dei sistemi degli obiettivi prescelti) | <ul style="list-style-type: none"> • Mappa H_{SM} e/o spettri di risposta • IOpàCLE • IOATO • Mappe di rischio (dei sistemi degli obiettivi prescelti) |
|---|---|--|--|

Tabella 3 – Disciplina d'uso del suolo, elaborazioni e prodotti riferiti ai livelli di MS

6.1 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da amplificazione

La pianificazione urbanistica e territoriale è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione urbanistica, gli studi di MS, ai vari livelli, come definiti negli ICMS (2008), sono integrati con quanto specificato dalle presenti linee guida.

Obiettivo generale della disciplina d'uso del suolo delle zone interessate da amplificazione è la mitigazione del rischio sismico.

Al fine di definire tale disciplina, si farà riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- Aree edificate (recenti o consolidate)
- Aree non edificate (con previsione di trasformazione)
- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di microzone omogenee in prospettiva sismica alle quali non è stata attribuito un valore di H_{SM} (Livello 1 di MS), oppure con microzone sismiche alle quali è stato attribuito un valore di H_{SM} (Livelli 2 e 3 di MS), va disciplinata con specifiche norme e indicazioni. In particolare, le tre categorie urbanistiche possono essere definite nel modo seguente:

- Aree edificate (recenti o consolidate) – aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.
- Aree non edificate (con previsione di trasformazione) – aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti - residenziali, produttivi, a servizio o misti - di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.
- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata – aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, sia per destinazione d'uso (aree agricole), che per la presenza di vincoli e forme di tutela.

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione. Per quanto riguarda le specifiche articolazioni della normativa urbanistica nelle suddette aree, ogni Regione potrà predisporre opportune corrispondenze tra le tre categorie urbanistiche e le zone omogenee individuate dai rispettivi strumenti di governo del territorio.

6.2 Indicazioni per la disciplina d'uso

Le indicazioni per la disciplina d'uso del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone soggette ad amplificazione sono distinte in due tipi di indicazioni:

- **indicazioni urbanistiche**, che definiscono possibili regolamentazioni dello strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative;
- **indicazioni edilizie**, a supporto di interventi sull'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica vigente;

7 Indicazioni urbanistiche

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi (tabella 4).

| CATEGORIE URBANISTICHE | | AREE EDIFICATE (RECENTI O CONSOLIDATE) | AREE NON EDIFICATE (CON PREVISIONI DI TRASFORMAZIONE) | AREE NON URBANIZZATE A TRASFORMAZIONE LIMITATA |
|--|-----------|--|---|---|
| Zone di amplificazione per livello di MS | Livello 1 | necessità di approfondimento nei territori con $a_g > 0,05g$ | | |
| | Livello 2 | Valutazione e programmazione | | |
| | Livello 3 | | | |

Tabella 4 – Indirizzi per la disciplina d'uso del suolo

7.1 Necessità di approfondimento

Nel caso di zone identificate nel livello 1 di MS come zone stabili suscettibili di amplificazione, per poter attribuire un valore numerico all'amplificazione devono essere espletati i necessari approfondimenti, propri del livello 2 o 3. Tali approfondimenti possono essere omessi nei territori con $a_g \leq 0,05g$ (IR 475 anni). È prerogativa delle Regioni stabilire eventuali limiti temporali, anche in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento dei suddetti approfondimenti. L'assenza di approfondimento (mancata realizzazione del livello 2/3 di MS) determina la necessità di individuare uno o più obiettivi di mitigazione del rischio da perseguire (Tabella 5 e schema di riferimento nell'Appendice 6):

- L'individuazione di uno o più obiettivi di mitigazione del rischio da perseguire (vedi schema di riferimento nell'Appendice 6);
- La valutazione dell'operatività del sistema di gestione delle emergenze sulla base dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (vedi schema di riferimento nell'Appendice 7).

| Necessità approfondimento | di | Obiettivi |
|------------------------------|----|---|
| Mitigazione del rischio | | <ul style="list-style-type: none">• Contenere il collasso• Salvaguardare il sistema insediativo• Contenere il danno• Mantenere i livelli insediativi |
| Gestione dell'emergenza | | <ul style="list-style-type: none">• Valutare operatività SGE |

Tabella 5 – Necessità di approfondimento per il livello 1 di MS

Si precisa che le indicazioni riportate sono riferite ad un TR di 475 anni, corrispondente a quello attualmente considerato negli studi di MS sino ad oggi realizzati. Tuttavia, il metodo consente, integrando le informazioni disponibili, l'elaborazione dei diversi possibili obiettivi di mitigazione del rischio, laddove richiesto, anche per altri periodi di ritorno.

7.2 Valutazione e programmazione

A seguito dell'applicazione della disciplina d'uso di cui al livello 1 (necessità di approfondimento di cui al paragrafo 7.1), viene identificato l'obiettivo (o gli obiettivi) del piano e viene individuato e analizzato il relativo sistema. Il sistema, in generale, è costituito da un insieme di oggetti fisici quali edifici, infrastrutture, aree di emergenza (elementi strutturali) ed elementi non strutturali quali le procedure, mezzi, unità di personale, gestione delle informazioni, ecc. La predisposizione degli studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 consente di attribuire il valore di H_{SM} e definire degli spettri di risposta, quindi, determina la possibilità di effettuare valutazioni quantitative finalizzate all'analisi del danno e alla predisposizione di programmi di intervento.

È prerogativa delle Regioni stabilire eventuali limiti temporali, anche in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento di tali valutazioni e programmi. Per l'assolvimento dell'approfondimento (realizzazione del livello 2 e 3 di MS) si veda la disciplina d'uso proposta nell'Appendice 8.

In Appendice 9 sono riportati alcuni esempi di utilizzo sul territorio italiano dei parametri che definiscono l'amplificazione sismica per analisi del danno.

8 Indicazioni edilizie

8.1 Livello 1 di MS

Nel caso di zone suscettibili di amplificazione negli studi di livello 1, devono essere espletati gli studi di approfondimento di livello 2 e 3 al fine di avere utili indicazioni per la progettazione delle nuove costruzioni e degli interventi sulle costruzioni esistenti.

Nelle more dell'espletamento di tali approfondimenti gli studi di MS di livello 1 forniscono comunque importanti informazioni per indirizzare le analisi e le indagini a supporto della progettazione sulla base del modello di sottosuolo definito (geologico, geotecnico e geofisico) e delle diverse MOPS individuate. In particolare, essendo gli studi di MS generalmente condotti a scala più estesa di quella di sito, propria degli interventi edilizi, il modello di sottosuolo definito con il livello 1 solitamente fornisce informazioni più complete al contorno e a maggiori profondità, ad esempio facilitando la determinazione del bedrock sismico nelle aree con spessori elevati delle coperture e/o con morfologia complessa del contatto bedrock-coperture.

8.2 Livelli 2 e 3 di MS (Supporto alla scelta dello spettro di elastico per la progettazione, adeguamento e miglioramento edifici privati)

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, proprie degli studi di approfondimento di livello 3, gli esiti dello studio di secondo livello possono comunque fornire utili indicazioni sull'opportunità o meno di utilizzare l'approccio semplificato per la definizione dell'azione sismica di progetto. Ad esempio, la PGA al sito risultante dalla PGA di riferimento moltiplicata per il fattore di amplificazione da microzonazione

sismica di livello 2 (F_{PGA} e/o F_T) è direttamente confrontabile con P_{max} data da a_g moltiplicata per il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s ed eventualmente di quello di amplificazione topografica S_T . È anche possibile confrontare il valore del parametro H_{SM} da microzonazione sismica di livello 2 con il valore del corrispondente H_{SM} da approccio semplificato della norma, ovvero il valore integrale dello spettro corrispondente alla categoria di sottosuolo del sito del manufatto, per il tempo di ritorno di 475 anni, calcolato per l'intervallo 0,1s-0,5 s e diviso per 0,4s. Nel caso in cui la norma non sia cautelativa si propone, come fatto per il livello 3, di effettuare analisi RSL *ad hoc* per la progettazione.

Disponendo invece di uno studio di livello 3, al fine di definire lo spettro elastico di progetto, il progettista delle strutture potrà confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato (per la regolarizzazione dello spettro di risposta si veda Appendice 4) ottenuto per la microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato della normativa sismica, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni. Per problematiche legate ai rapporti tra FA e spettro medio di una microzona si veda l'Appendice 5.

Questo metodo è stato utilizzato per la ricostruzione post eventi sismici del 2016-17 in Italia Centrale (Commissario del Governo, 2016).

L'intervallo di periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di una microzona di livello 3 e quello di norma dell'approccio semplificato è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell'opera nelle due direzioni principali, ossia il minore, T_{min} , e il maggiore, T_{max} , dei tre periodi di vibrazione dell'edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell'elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra T_{min} e T_{max} .

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

1. lo spettro di una microzona di livello 3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2. l'integrale dello spettro di una microzona di livello 3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni è verificata, è possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica. Se almeno una delle condizioni di cui sopra è verificata, lo spettro previsto dall'approccio semplificato della normativa può ritenersi significativamente meno conservativo di quello della microzona di livello 3.

In questo caso il progettista, utilizzando i risultati della microzona di livello 3, dovrà procedere a definire gli approfondimenti geologici, geofisici e geotecnici necessari a dettagliare il modello di sottosuolo nell'area di interesse del manufatto. Sulla base di questi approfondimenti il progettista dovrà valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato della normativa e, nel caso, giustificarne l'adozione in relazione alle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche dello specifico sito rispetto alla situazione di riferimento cui si riferisce lo spettro ottenuto dagli studi di MS. In caso contrario, il progettista dovrà necessariamente procedere con un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) o bidimensionale (2D), in base alle caratteristiche del sito. In particolare, i risultati dello studio di MS di livello 3 saranno utilizzati per definire il volume significativo di sottosuolo e le caratteristiche morfologiche da considerare per le analisi numeriche della risposta sismica locale, includendo la possibile presenza di effetti 2D.

Infine, ferme restando le prerogative del progettista in merito alle scelte effettuate per la caratterizzazione delle azioni sismiche e sotto la sua completa responsabilità, gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS di livello 3 (regolarizzati secondo il metodo riportato in Appendice 4) possono essere utilizzati nella progettazione qualora vengano ritenuti più affidabili e in ogni caso più conservativi di quelli dell'approccio semplificato. La scelta del progettista di utilizzare gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS di livello 3 dovrà comunque essere giustificata nella relazione di calcolo strutturale, anche con riferimento alla relazione geologica e geotecnica.

Per le costruzioni di classe III e IV, se nessuna delle due condizioni di cui ai punti 1 e 2 del presente paragrafo risultasse verificata, in riferimento al tempo di ritorno di 475 anni, sarà possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica. In caso contrario, occorrerà approfondire l'analisi della risposta sismica locale nei modi detti, al fine di determinare gli spettri di risposta riferiti a periodi di ritorno diversi dai 475 anni. Sono fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive. Per le costruzioni di classe I, il progettista potrà adottare l'approccio semplificato della normativa sismica, salvo eventuali disposizioni regionali più restrittive.

APPENDICI

1. Modalità di determinazione e rappresentazione delle zone suscettibili di amplificazione
2. Indicazioni e buone pratiche nella risposta sismica locale 1D (presentazione ppt)
3. Indicazioni e buone pratiche in presenza di inversioni nel profilo di Vs (presentazione ppt)
4. Regularizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS di livello 3.
5. FA e Spettri di risposta elastici medi in una microzona omogenea, possibili incongruenze
6. Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: approfondimenti
7. Schema di riferimento per la valutazione dell'operatività del sistema di emergenza di un Comune o di un Ambito Territoriale Omogeneo
8. Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: valutazioni del piano e programmazione
9. Esempi di analisi del danno sul territorio italiano
10. Rapporto del gruppo di lavoro sull'applicabilità degli abachi per la MS di livello 2

APPENDICE 1

Modalità di determinazione e rappresentazione delle zone suscettibili di amplificazione

La microzonazione sismica, come è noto, è organizzata in livelli di approfondimento successivi, caratterizzati da un dettaglio crescente e modulato in funzione della complessità del modello geologico-tecnico di sottosuolo, dei dati geognostici acquisiti e dell'affidabilità dei risultati ottenuti.

Per la definizione delle zone suscettibili di amplificazione si rimanda a quanto già ampiamente riportato al par.1.6.3.1.2 negli ICMS, mentre per la perimetrazione e della relativa rappresentazione cartografica si ritiene di definire una procedura operativa per ognuno dei livelli di approfondimento degli studi di microzonazione sismica.

Criteri e modalità operative per la perimetrazione delle cartografie di livello 1

Nella determinazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione da inserire nelle MOPS, sulla base dei dati disponibili e delle conoscenze del modello geologico-tecnico di sottosuolo, dovranno essere individuati preliminarmente (anche mediante indagini di nuova acquisizione) i litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnati da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: “qualche metro”, “una decina di metri”, “alcune decine di metri”, “oltre i 100 metri”) e una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: “alto” o “basso”). Si sottolinea l'importanza, ai fini degli approfondimenti successivi, di definire almeno il limite dei 30m di profondità che dovrà essere sempre previsto nella suddivisione delle MOPS.

Per consentire l'acquisizione di tali informazioni di tipo semiquantitativo e la successiva predisposizione di una cartografia delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS) attendibile e affidabile, si ritiene che sia consigliabile l'acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.6.3.1.2 degli ICMS, dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Lo studio di microzonazione di primo livello deve essere quindi inteso come una vera e propria ricostruzione tridimensionale del contesto geologico di un'area, definendo non solo le geometrie e gli spessori dei corpi sedimentari (e conseguentemente la profondità del substrato geologico) ma anche molti altri aspetti come ad esempio granulometria ed addensamento dei depositi, superficie della falda, morfologia, dissesti gravitativi dei versanti ed altri ancora che possono a vario titolo condizionare la risposta sismica locale di una determinata area e per la definizione dei quali è necessario un approccio multidisciplinare ed integrato del territorio.

Al fine di agevolare la realizzazione di studi di microzonazione di primo livello, si ritiene utile riportare una procedura utile da seguire per la definizione delle zone stabili suscettibili di amplificazione articolata nelle seguenti fasi:

- FASE 1 - definizione dell'area di studio e acquisizione delle cartografie e indagini esistenti.

In tale fase è molto importante eseguire una valutazione critica del materiale presente in quanto ai fini della microzonazione sismica necessitano cartografie a scala di dettaglio (saranno pertanto da prediligere cartografie in scala 1:2000 o 1:10000) di recente realizzazione, che saranno comunque oggetto di una revisione critica da parte del soggetto realizzatore dello studio, anche e soprattutto, in funzione delle evidenze di appositi sopralluoghi eseguiti in campagna e non ultimo, delle risultanze delle indagini esistenti che in molti casi possono fornire utili informazioni ai fini di una accurata rappresentazione delle coperture e dei limiti tra queste ed il substrato geologico dell'area. In altri termini, partendo dalle cartografie geologiche esistenti si deve pervenire ad una cartografia geologica di sintesi che vada a sviscerare le reali problematiche riguardanti la microzonazione dei centri abitati, con particolare riferimento alle coperture che solitamente caratterizzano le aree antropizzate. Se infatti è vero che in una carta geologica classica molto spesso le aree urbanizzate e talvolta anche le coperture detritiche e colluviali vengono trattate

sommariamente, privilegiando la rappresentazione dell'assetto strutturale dell'area, ai fini della microzonazione tali aree e certi aspetti divengono invece importantissimi e molto spesso determinanti per definire il passaggio tra zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazione locale.

- FASE 2 – passaggio dal modello geologico preliminare al modello geologico definitivo.

Una volta definita la cartografia geologica di sintesi è buona norma realizzare un congruo numero di sezioni geologiche “preliminari” allo scopo di definire sin dalle prime fasi del lavoro il modello geologico dell'area alla luce delle conoscenze esistenti. Questa operazione è di fondamentale importanza per focalizzare sin da subito eventuali zone che per complessità geologico-stratigrafiche o scarsità di dati sismo-stratigrafici necessitano di approfondimenti di indagini e quindi pianificare una adeguata e appropriata campagna di misure HVSR che oltre a chiarire tali aspetti avrà il compito di validare o eventualmente correggere il modello geologico “preliminare”.

Si sottolinea come il ricorso a campagne di misure HVSR fornisca pertanto un utilissimo strumento per la comprensione del modello geologico e solitamente, in contesti piuttosto semplici contraddistinti da una generale omogeneità dei terreni di copertura, la migrazione delle frequenze fondamentali dei depositi è strettamente correlabile con l'approfondimento del substrato geologico mentre l'entità del picco H/V fornisce indicazioni in merito al contrasto di velocità tra i vari corpi sismostratigrafici con particolare riferimento al passaggio substrato sismico-coperture.

- FASE 3 – definizione del modello geologico-tecnico e passaggio alla cartografia MOPS.

A partire dal modello geologico definitivo di cui alla fase precedente, è necessario pervenire alla realizzazione del modello geologico-tecnico di sintesi associando alle caratteristiche litostratigrafiche desunte dal modello geologico, anche ulteriori informazioni in grado di modificare lo scuotimento sismico, quali ad esempio gli aspetti geomorfologici, strutturali, geotecnici, geofisici e idrogeologici. Tali informazioni, sintetizzate nella carta geologico-tecnica, consentono la rivisitazione del modello geologico stratigrafico definitivo mediante l'individuazione e la perimetrazione di unità geologico tecniche suddivise in base a caratteristiche litotecniche omogenee.

Tale attività richiede spesso una semplificazione del modello geologico (talvolta estremamente dettagliato) accorpando quei terreni e quei substrati geologici che presentano caratteristiche tra loro simili, ponendo particolare attenzione alla ricostruzione dei rapporti geometrici tra le varie unità. Tale fase di accorpamento è propedeutica alla redazione della Cartografia delle Microzone Omogenee (MOPS) in prospettiva sismica. Le unità geologico-tecniche individuate in questa fase, sia sulla carta, che sulle sezioni geologico-tecniche, di fatto rappresentano gli elementi stratigrafici caratterizzanti le varie microzone omogenee.

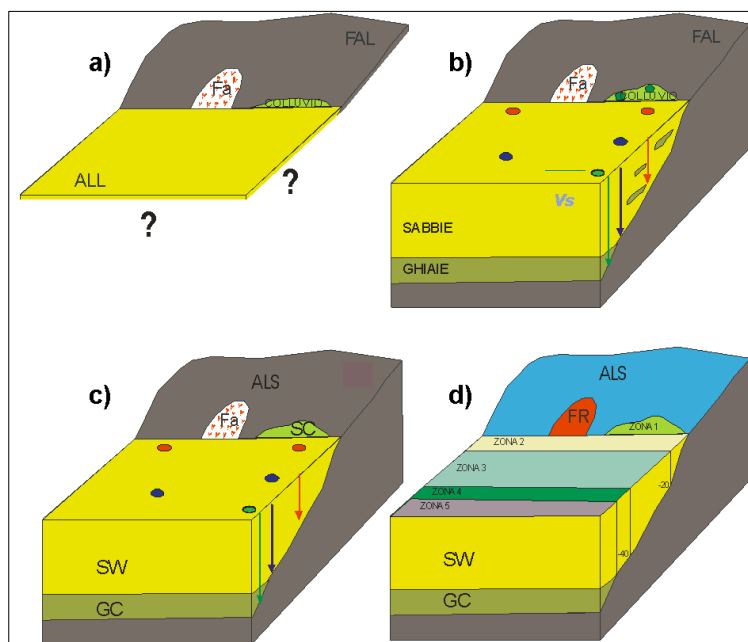


Fig. A1.1– Fasi di elaborazione di uno studio di livello 1 : a) recupero cartografie esistenti; b) creazione modello geologico definitivo alla luce delle indagini esistenti e di nuova realizzazione (si noti la diversa perimetrazione della copertura colluviale a seguito del reperimento di nuove indagini); c) definizione del modello geologico-tecnico (si noti la scelta di accorpare i corpi lenticolari di ghiaie con limitata estensione areale e stratigrafica alle sabbie); d) Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Si sottolinea come la perimetrazione delle microzone debba essere assolutamente congruente con quanto riportato nella carta geologico-tecnica e nelle relative sezioni. A tal proposito ed allo scopo di evitare banali errori, si consiglia di procedere all'individuazione delle microzone omogenee riferendosi alle sezioni geologico tecniche rappresentato nell'esempio di Fig.A1.2 Solo successivamente è opportuno riportare tali suddivisioni in carta lungo le tracce delle stesse sezioni, unendo poi tratti corrispondenti alla medesima microzona ed avendo cura di compiere tale raccordo valutando l'eventuale presenza di indagini puntuali o lineari che ovviamente devono anch'esse risultare congruenti con la successione stratigrafica della microzona entro la quale ricadono.

L'accortezza di individuare i limiti delle microzone direttamente sulle sezioni geologico tecniche permette anzitutto di eseguire una suddivisione ragionata degli spessori associati a ciascuna microzona ed inoltre pone al riparo da errori dovuti ad incongruenze tra gli spessori associati a microzone confinanti. Questa procedura risulta essere la metodologia migliore possibile in quanto garantisce al tempo stesso un elevato dettaglio, una correttezza del modello e un controllo migliore sulla qualità della cartografia finale.

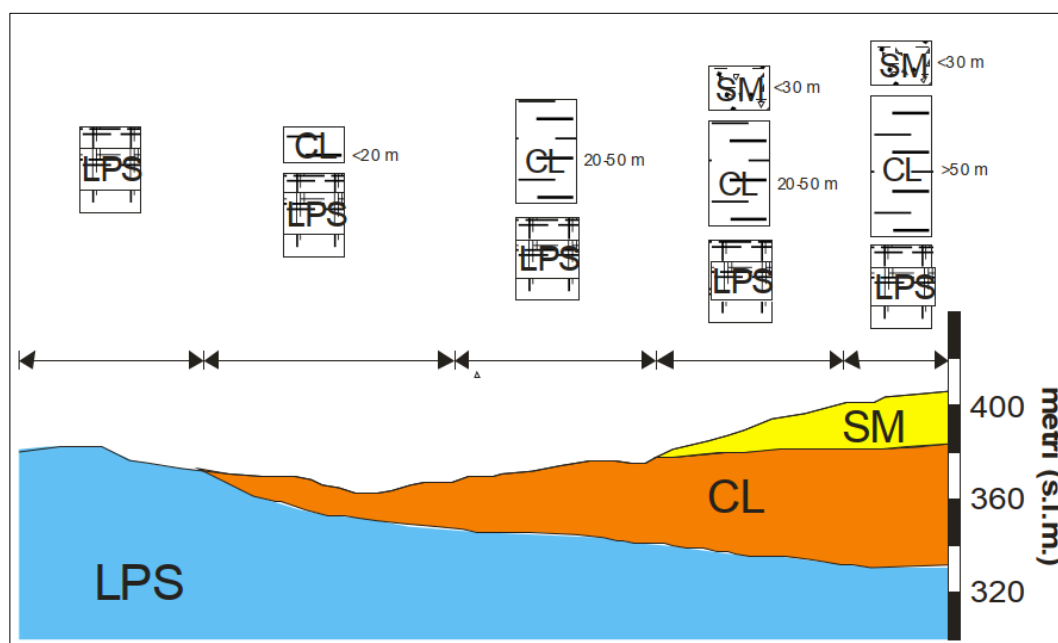


Fig. A1.2– Individuazione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica lungo le sezioni

Criteri e modalità operative per la perimetrazione delle cartografie di livello 2

Il passaggio da uno studio di Microzonazione Sismica (di seguito MS) di Livello 1 al successivo Livello 2, rappresenta un aspetto piuttosto delicato e proprio per questo necessita di debite ed opportune valutazioni preliminari e differenziazioni in relazione al grado di attendibilità dello studio di livello 1 dal quale si parte. Nel caso si disponga di uno studio di MS livello 1 che definisca in maniera corretta il modello geologico s.l. dell'area, il passaggio al livello 2 risulterà pressoché automatico e dipenderà quasi esclusivamente dalla corretta applicazione degli abachi; pertanto, molte perimetrazioni presenti nella cartografia MOPS resteranno invariati suddividendo (laddove sussistano i requisiti di applicabilità degli abachi) zone a diverso fattore di amplificazione, calcolato in funzione delle stratigrafie rappresentative delle varie microzone

omogenee.

Nel caso, invece, di uno studio di MS di livello 1, connotato da una non sufficiente completezza nella definizione del modello geologico s.l., si renderà necessaria, prima dell'applicazione degli abachi, una profonda revisione dello studio.

In figura 3 si riporta un diagramma di flusso che intende sintetizzare il percorso logico opportuno da compiere, al fine di verificare il grado di attendibilità dello studio di livello 1 di cui si dispone prima di passare alla redazione delle cartografie di livello 2 mediante l'applicazione degli abachi. Il percorso logico prevede l'effettuazione di una serie di verifiche di congruenza suddivise in tre fasi principali:

A) Verifica formale di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche che definiscono il modello geologico 2D della zona e **la cartografia MOPS** che di fatto rappresenta una ricostruzione 3D dello stesso modello geologico. In corrispondenza delle tracce di sezione le informazioni contenute nei due elaborati devono necessariamente essere congruenti; se così non fosse, si renderà necessaria una revisione generale dello studio;

B) Verifica di congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e le risultanze delle indagini: dopo aver verificato, secondo quanto riportato al punto precedente, la congruenza formale degli elaborati, si passa a verificare la corrispondenza del modello riportato nelle sezioni con le reali caratteristiche sismostratigrafiche dell'area, eseguendo un confronto con i dati di indagine disponibili. L'analisi combinata dei dati (ad esempio indagini geofisiche e misure HVSR) permette di risalire in maniera indiretta a informazioni basilari quali la presunta profondità dell'orizzonte risonante. Ovviamente, per poter eseguire un confronto è necessario anzitutto che le indagini siano presenti e che queste siano attendibili e di buona qualità. Quindi, dopo aver effettuato una valutazione critica delle indagini disponibili ed aver verificato la presenza dei già menzionati parametri (V_s e f_0), si passa a verificare il grado di attendibilità delle sezioni utilizzando le indagini presenti lungo la traccia di sezione. E' necessario, in linea di massima, infatti che per ogni sezione siano disponibili sia indagini per la stima del parametro V_s , sia indagini per la stima degli spessori delle coperture presenti. Nel caso non siano presenti indagini idonee sarà necessario eseguire indagini di nuova realizzazione al fine di completare la ricostruzione in termini sismostratigrafici del modello geologico s.l. Solo dopo aver verificato la correttezza del modello realizzato sarà possibile passare alla fase successiva;

C) Controllo Estrapolazione Areale del modello geologico tecnico 2D riportato nelle sezioni: Verifica della congruenza tra le indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione) con le stratigrafie peculiari delle varie microzone omogenee. Qualora le indagini disponibili non offrano una copertura areale sufficientemente omogenea, si procederà con l'acquisizione di ulteriori dati (V_s e f_0) necessari come chiavi di ingresso per l'applicazione degli abachi. Nel caso in cui le verifiche puntuali confermino l'adeguatezza delle scelte compiute in sede di estrapolazione areale, lo studio di livello 1 si può ritenere pronto per l'applicazione del livello successivo, in caso contrario sarà, invece, necessario provvedere ad una revisione della perimetrazione delle zone MOPS e/o delle colonnine stratigrafiche peculiari di ciascuna microzona omogenea.

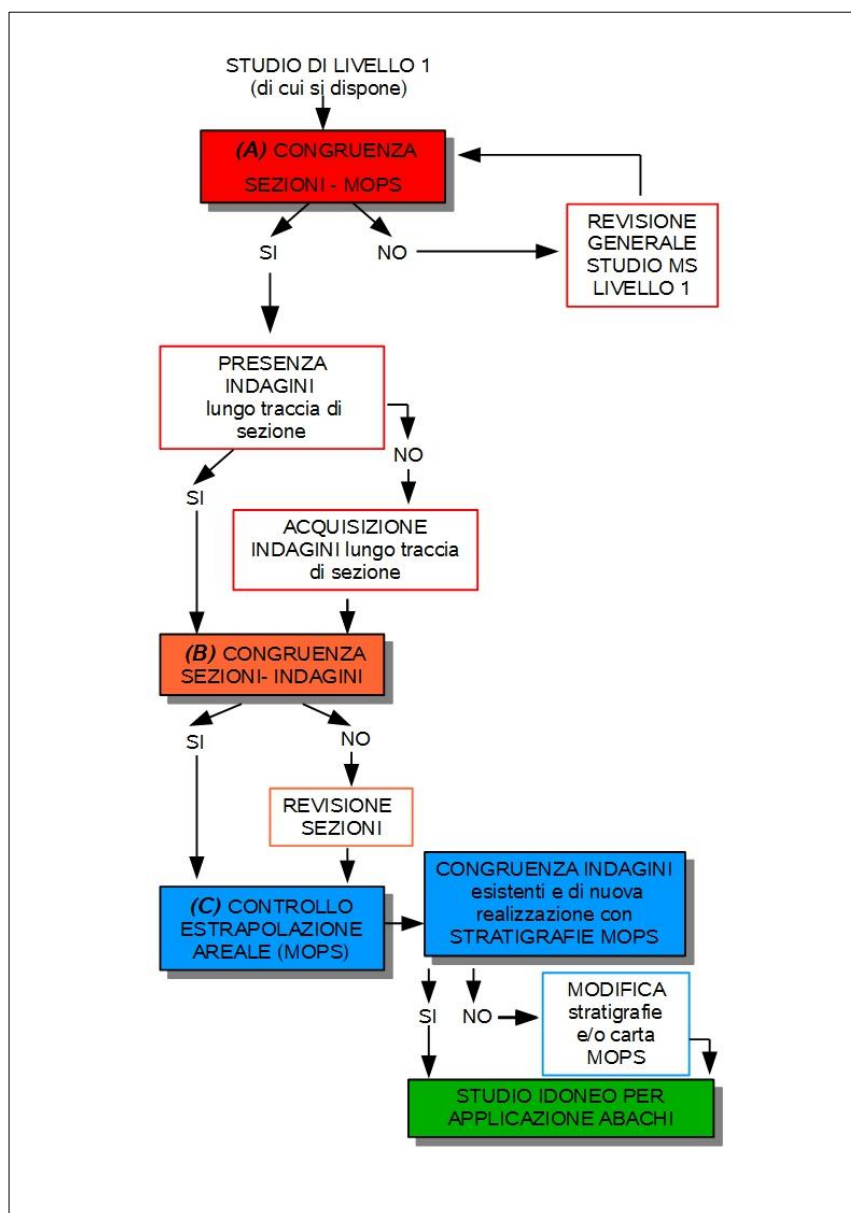


Fig. A1.3– Diagramma di flusso per il passaggio da uno studio di MS di livello 1 ad uno studio di livello 2

Una volta valutata, mediante la procedura metodologica precedente, l'idoneità dello studio di MS1 ai fini di redazione del successivo livello di microzonazione sismica di livello 2, dovranno essere avviate le attività per la redazione delle cartografie di microzonazione sismica di livello 2 mediante l'applicazione degli abachi nazionali o regionali, se disponibili.

Per l'applicazione degli abachi, anche se ogni abaco può avere piccole differenze sui dati di partenze, generalmente è necessario disporre almeno delle seguenti informazioni per ciascuna della MOPS individuata:

- definizione della colonna stratigrafica con dettaglio sulla profondità dell'interfaccia risonante principale e relativa stima che consente almeno la definizione del limite dei 30m di copertura;
- stima del valore medio di Vs (V_{s_eq} oppure V_{s30}) per ogni colonna MOPS sulla base delle indagini geofisiche acquisite;
- stima delle frequenze fondamentali (f_0) del terreno per ogni colonna MOPS desunte dalle misure di rumore HVSR realizzate e valutazione della loro variabilità.

Mediante tali parametri è possibile determinare il fattore di amplificazione corrispondente mediante l'applicazione degli abachi di riferimento.

Si sottolinea che, nel caso, a seguito delle indagini eseguite, nell'ambito della medesima microzona MOPS si noti una elevata variabilità del modello geologico-tecnico, come ad esempio una variazione della profondità dell'interfaccia risonante, è necessario provvedere (vedi fig.A1.4) alla ulteriore suddivisione della microzona MOPS (ad esempio considerando il limite dei 30m di profondità del contatto copertura/bedrock sismico).

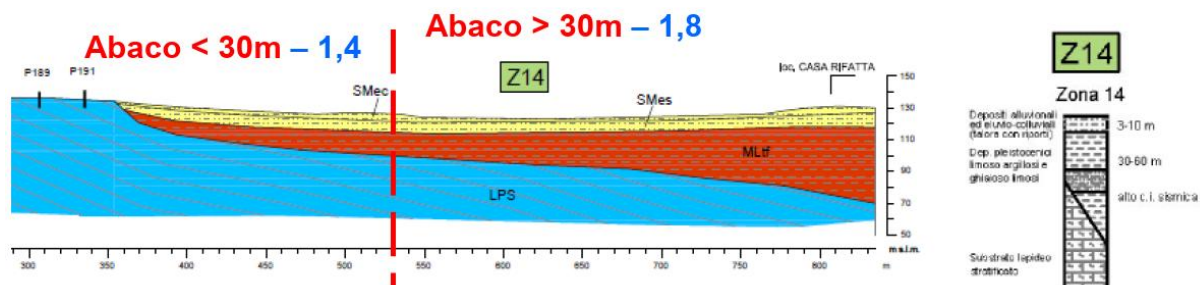


Fig. A1.4– Riperimetrazione classe MOPS nel rispetto dell'isopaca dei 30m

Pertanto, dopo aver acquisito anche mediante nuove indagini, le informazioni suddette, è necessario procedere nel seguente modo:

1) Per ogni sito di misura dei valori di frequenza è necessario, sulla base dei dati di sottosuolo disponibili e con l'ausilio delle colonne stratigrafiche MOPS, stimare la profondità del substrato sismico e valutare se questa è superiore o meno al limite dei 30m. Tale informazione è essenziale per la scelta dell'abaco più idoneo (nel caso in cui l'abaco preveda questo elemento) al contesto di riferimento ma anche per valutare eventuali suddivisioni delle classi;

2) Per ogni singola microzona MOPS valutare la variabilità dei valori di frequenza. Se vi è una elevata variabilità è necessario definire dei limiti e suddividere le microzone ulteriormente per mantenere tutte le informazioni. Ad esempio, in relazione ai rapporti di impedenza sismica tra copertura e substrato variabili spazialmente, può succedere che all'interno di una medesima microzona MOPS (soprattutto se molto estesa) vi siano differenti comportamenti relativi all'interfaccia risonante.

3) Sulle base delle valutazioni di cui ai precedenti punti 1 e 2 che potrebbero portare ad ulteriori suddivisioni delle microzone MOPS, viene stimato, per ogni verticale di analisi all'interno di ciascuna microzona MOPS, il valore del fattore di amplificazione desunto dagli abachi in funzione del valore puntuale di frequenza e della stima areale delle Vs. Si fa presente che, qualora, a seguito della realizzazione di apposite campagne di misura, non sia disponibile un valore di frequenza fondamentale del sito, al fine di stimare i valori dei fattori di amplificazione, potrà essere realizzata un'apposita analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) in assetto monodimensionale.

4) Definiti puntualmente i fattori di amplificazione, l'estensione areale dovrà tener conto del modello geologico s.l. desunto dallo studio di MS di livello 1, opportunamente integrato nell'ambito di questa fase.

Si sottolinea quindi come, in funzione delle valutazioni relative al limite dei 30m (se presente) dell'interfaccia risonante, alla variabilità dei valori di frequenza e/o di velocità all'interno di ciascuna microzona MOPS o della variabilità dei fattori di amplificazione stimati dall'abaco, le geometrie delle microzone MOPS possono non corrispondere a quelle definite per le cartografie di livello 2 ed in particolare può succedere di accorpare due differenti microzone MOPS per similitudine in termini di fattori di amplificazione o al contrario suddividere una microzona MOPS in relazione all'elevata variabilità dei parametri di ingresso dell'abaco (Vs e/o f0) o dei fattori di amplificazione stessi.

Criteri e modalità operative per la perimetrazione delle cartografie di livello 3

Una volta eseguite le analisi di risposta sismica locale in assetto mono o bidimensionale si dispone di una serie di parametri di output (spettri di risposta elastici medi e relativi fattori di amplificazione per ogni nodo di analisi, per i vari periodi di ritorno scelti) ubicati lungo le sezioni di analisi e/o in corrispondenza di punti di taratura.

I risultati relativi ai fattori di amplificazioni dovranno essere puntualmente riportati su base cartografica al fine di realizzare la cartografia di microzonazione sismica di livello 3 con le seguenti precisazioni:

- per l'estrapolazione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle sezioni geologico-tecniche (vedi esempio in fig. A1.5) e, quindi, sprovvisti dei dati di output delle analisi numeriche, si dovrà forzatamente ricorrere ad estrapolazione areale basata su valutazioni su base esperta. Tale processo, di per sé estremamente delicato ed esposto alla soggettività del soggetto realizzatore, deve essere effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS;
- è sempre da tener in conto che in linea di massima può esistere una correlazione tra le microzone relative ai due livelli di approfondimento (1 e 3), sebbene questo processo di correlazione (nell'ambito dell'estensione del dato) debba essere effettuato in maniera non automatica ma doverosamente critica.
- Quindi nella redazione di studi di MS di livello 3 è possibile prevedere un'estrapolazione areale dei risultati basata principalmente sugli esiti delle analisi di RSL, con successivo controllo del risultato in riferimento all'estensione ed alla distribuzione delle MOPS e delle indagini di esplorazione del sottosuolo disponibili. Si tenga presente, però, che nel caso siano presenti pochi dati di output (aspetto sicuramente non positivo per l'esito dello studio e, quindi, da evitare in fase di programmazione delle analisi) non conviene operare un'estrapolazione areale svincolata dalle MOPS. Converrà, invece, rispettare i limiti delle microzone omogenee o, se necessario, operare una suddivisione nell'ambito della stessa MOPS in termini di amplificazione.

Il modello logico su cui si può basare l'estrapolazione areale dei dati di amplificazione è indicativamente il seguente:

- Rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
- Individuazione del contesto sismostratigrafico alla base di ogni valore di FA desunto;
- Identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di analoghe condizioni sismostratigrafiche su aree non coperte da analisi di risposta sismica locale (figura A1.5);
- Se in tali aree sono presenti, comunque, indagini sismiche attive e/o passive è opportuno, nel processo di estrapolazione, tener conto dei risultati di tali indagini;
- Raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA0105;
- Stima, in corrispondenza delle microzone individuate al punto precedente, dei fattori di amplificazione richiesti dagli Standard nazionali e regionali (FA0105, FA0408 ed FA0711);
- Rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS;
- Calcolo degli spettri medi per ogni microzona individuata nel livello 3.

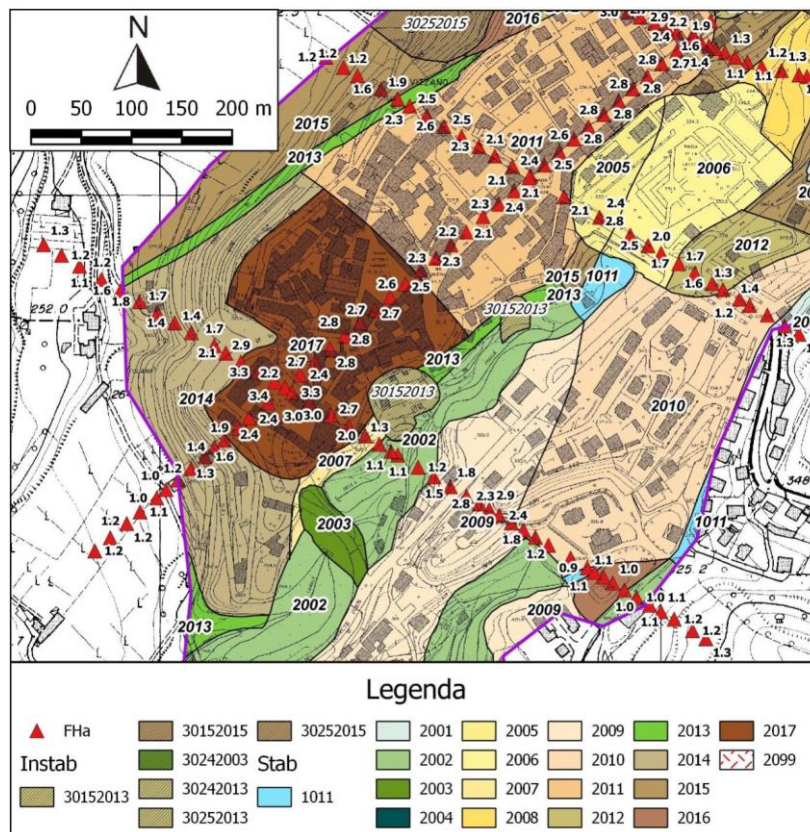


Fig. A1.5– Sovrapposizione dei valori di EA0105 con le MOPS individuate nello studio di MS di livello 1.

APPENDICE 2

Indicazioni e buone pratiche nella risposta sismica locale 1D (presentazione in ppt in allegato)

APPENDICE 3

Indicazioni e buone pratiche in presenza di inversioni nel profilo di V_s (presentazione in ppt in allegato)

APPENDICE 4

Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS di livello 3

La procedura di regolarizzazione (Newmark e Hall, 1982⁵, Romeo, 2007⁶, Gruppo di Lavoro Musei Statali, 2015⁷), permette di trasformare lo spettro di risposta, risultato delle simulazioni numeriche nell'ambito degli studi di MS di livello 3, in uno spettro con forma standard (secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni), costituita da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e, quindi, a velocità costante.

Alla fine della procedura saranno disponibili anche tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico in codici di calcolo per la progettazione e la verifica delle costruzioni (a_g , a_{max} , T_B , T_C , T_D , T_C^* , F_0 , ξ , η , S_s , S_T).

Indicando con SA lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione e SV lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità, ottenuti dalle simulazioni numeriche, i passi della procedura di regolarizzazione sono i seguenti:

- Si calcola lo spettro di pseudoaccelerazione (SA) e si determina il periodo proprio (TA) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudoaccelerazione
- Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno di TA tra $0.5TA$ e $1.5TA$, questo valore sarà assunto come valore costante del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

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

- Si determina lo spettro di pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, moltiplicando le ordinate spettrali di quest'ultimo per l'inverso della corrispondente frequenza circolare $\omega = 2\pi/T$:

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

e quindi si individua il periodo (TV) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità;

- Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV nell'intorno tra $0.8TV$ e $1.2TV$:

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

- Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \frac{SV_m}{SA_m};$$

- Si determina $T_B = 1/3 * T_c$ e $T_D = 4.0 * a_{max}/g + 1.6$ (secondo quanto indicato dalla normativa), con a_{max} punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output. Poiché il valore di a_{max} non è generalmente fornito nello spettro delle simulazioni numeriche si procede per estrapolazione lineare, secondo la seguente equazione:

5 Newmark N.M. e Hall W.J., 1982. Earthquake spectra and design. EERI Research Report, 82- 71183, 103 pp.

6 Romeo Roberto W., 2007. Le azioni sismiche e le categorie di sottosuolo. Giornale di Geologia Applicata 6, 65-80. doi: 10.1474/GGA.2007 -06.0-07.0188

7 Carbonari S., Dall'Asta A., Dezi L., Di Ludovico M., Fabbrocino G., Lanzo G., Leoni G., Liberatore D., Moscatelli M., Pagliaroli A., Prota A., Santucci De Magistris F., Scasserra G., Sorrentino L., Giallini S. (2015). Utilizzo dei risultati dell'analisi della risposta sismica locale, confronto con gli spettri di normativa. *Relazione del gruppo di studio a), Progetto "Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali. Applicazione OPCM 3274/2003 smi e della Direttiva PCM 12.10.2007*, 66 pp.

$$a_{max} = \left(\frac{S_e(T = 0.01s)}{SA_m} - \frac{0.01}{T_B} \right) \left(\frac{SA_m}{1 - \frac{0.01}{T_B}} \right)$$

con S_e ($T=0.01s$) ordinata dello spettro di accelerazione per $T=0.01s$, primo valore del periodo nello spettro elastico delle simulazioni numeriche.

- g) Si applicano le equazioni riportate in NTC (2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra $T_A=0$, T_B , T_C , T_D , fino a un T di interesse.
- h) Si termina il parametro F_0 come rapporto SA_m / a_{max}

Infine, al solo fine di fornire dati congruenti, per l'analisi e la verifica delle costruzioni si potranno utilizzare i seguenti valori dei parametri richiesti $a_g=a_{max}$; $\xi=5\%$; $\eta=1$; $S_S=1$; $S_T=1$. Va sottolineato che i valori di a_g , S_S e S_T sono evidentemente fittizi, in quanto non riferiti alla condizione ideale di suolo rigido e pianeggiante, come è per definizione nelle norme tecniche per le costruzioni, essendo gli effetti di amplificazione stratigrafica e morfologica già messi in conto nei risultati delle analisi della RSL.

Questa procedura di regolarizzazione può essere utilizzata anche per lo spettro di input, utilizzando a_g invece che a_{max} .

APPENDICE 5

FA e Spettri di risposta elastici medi in una microzona omogenea, possibili incongruenze

In aree di studio in cui la MS3 restituisce microzone stabili con amplificazione e in cui è presente una dettagliata definizione dell'azione sismica, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, è possibile fornire per ogni microzona:

- un fattore di amplificazione FA, parametro utilizzato per la classificazione e mappatura delle microzone omogenee in prospettiva sismica ai fini della pianificazione territoriale
- uno spettro elastico medio, utile strumento di supporto per il progettista di un'opera.

La procedura per la definizione dello spettro elastico medio per ogni microzona sismica, descritta in dettaglio nell'Appendice 4 di questo documento, è stata resa operativa dall'Ordinanza n. 55 del 24/04/2018, emanata dal Commissario Straordinario per la ricostruzione sisma 2016 in Italia Centrale.

In termini generali, effettuate le analisi di risposta sismica locale (tipicamente per un $T_r=475$ anni) è possibile definire degli spettri "caratteristici". Raggruppando per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del FA) tutti gli spettri di risposta elastici di output in essa ricadenti, se ne ricava lo spettro medio. Un esempio di applicazione di tale procedura realizzato dalla Regione Toscana è disponibile al link:

https://www.regione.toscana.it/documents/10180/11701476/lg_rsl_2019.pdf/18b35202-041d-48ac-9425-97777b76b048

Nella redazione delle cartografie di MS3, si tende alla corrispondenza univoca tra le classi di FA ed i relativi spettri medi: ad ogni classe di FA corrisponde un solo spettro medio. Tuttavia, talora accade, in contesti areali estesi e/o geologicamente più eterogenei o in concomitanza di spessori delle coperture sismiche limitati (tipicamente entro i 10m di potenza), di riscontrare assetti sismostratigrafici disomogenei per la risposta sismica locale RSL (spettri), ma caratterizzati da un valore di FA corrispondente a una sola classe.

L'esempio in figura A5.1 riguarda una medesima tipologia sismostratigrafica e illustra il problema sopra descritto. Si noti che gli spessori dei depositi di copertura nella microzona omogenea variano da 5 a 10 m.

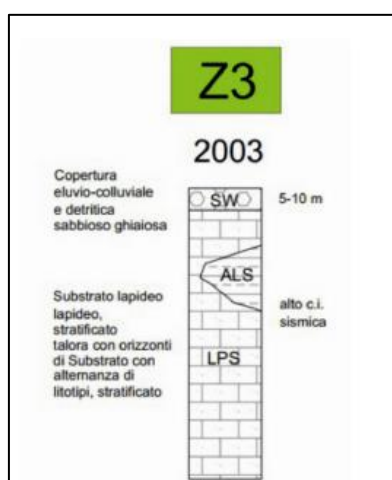


Fig. A5.1 - Colonnina litostratigrafica rappresentativa di una sismostratigrafia di riferimento di una microzona omogenea

Lo spettro medio attribuibile alla microzona è rappresentato in figura A5.2, in comparazione con la variabilità della popolazione degli spettri selezionati per la stessa microzona. Tale variabilità trova una sua giustificazione con il range di spessore delle coperture sismiche associate alla microzona in esame (fig. A5.1).

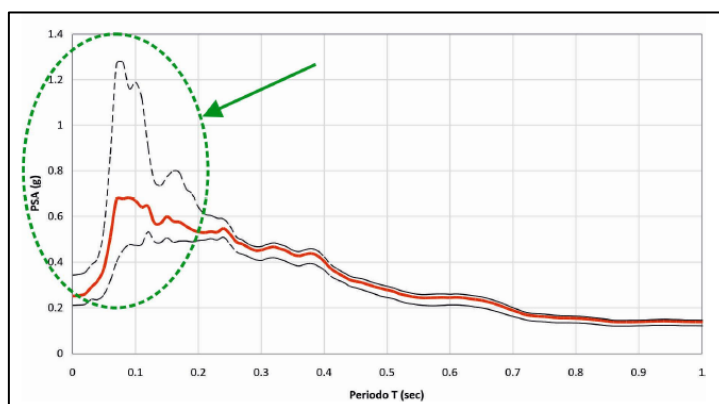


Fig. A5.2 – Spettro di risposta medio attribuibile alla microzona. Il cerchio verde indica il settore dello spettro caratterizzato da maggior variabilità

Le aree in cui gli spessori sono minimi (5-6m) la RSL restituisce spettri paragonabili con lo spettro di input e dotati di amplificazione molto bassa (fig. A5.3). Nelle aree in cui gli spessori sono intorno ai 10m (limite massimo per la microzona) e/o laddove si verificano deboli amplificazioni bidimensionali legate alla topografia, la risposta sismica locale è caratterizzata da spettri con picco molto elevato e piccati su periodi molto bassi (≤ 0.1 sec; fig. A5.4).

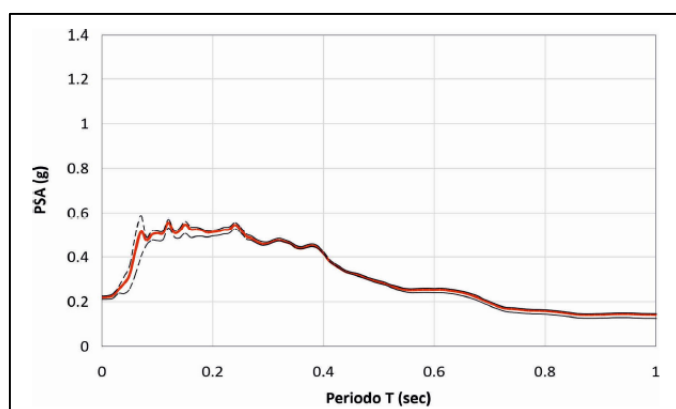


Fig. A5.3 – Spettro di risposta medio associato alla parte della microzona dove gli spessori di copertura sono minimi che chiameremo “area B”

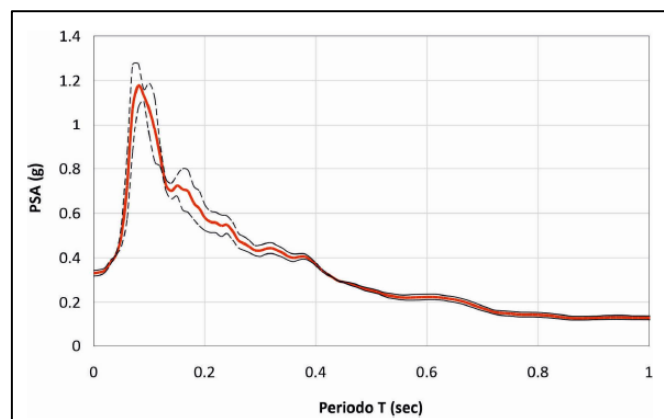


Fig. A5.4 – Spettro di risposta medio associato alla parte della microzona dove gli spessori di copertura sono massimi e sono presenti effetti di amplificazione topografica che chiameremo “area C”

I valori di FA per le due aree della microzona considerata sono riportati nella tabella A5.1.

| Aree della microzona | Tipo Z | FA0105 | FA0408 | FA0711 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Area B | 2003 | 1.05 | 1.1 | 1.0 |
| Area C | 2003 | 1.10 | 0.9 | 0.91 |

Tab. A5.1 - Valori di FA nelle due aree della stessa microzona esaminata per i 3 intervalli di periodo previsti

Come si può notare, i valori di FA sono molto simili in tutte e tre le bande spettrali, in contrasto con l'accentuata variabilità degli spettri nelle due aree.

Ciò può risultare importante, non tanto ai fini della redazione della carta di MS3, quanto al ruolo che la MS può avere nel fornire indicazioni a livello progettuale. Dal confronto (fig. A5.5) tra i due spettri medi (secondo quanto detto sopra) con lo spettro elastico previsto dalle NTC18 per le tipologie sismostratigrafiche esaminate (cat. B-T1) si può evincere come l'area B (curva blu) abbia un'amplificazione locale praticamente assente e che lo spettro di norma di cat. B sia cautelativo per tutti i periodi di interesse. Invece, per l'area C (curva rossa) si assiste ad una non trascurabile amplificazione piccata sui bassi periodi e per la quale, fino a circa 0.25s di periodo, lo spettro di categoria B non offre la condizione più cautelativa. Tale informazione, tipica di aree di transizione tra una piana e un rilievo sarebbe meno evidente considerando uno spettro unico (curva verde) per la condizione sismostratigrafico omogenea.

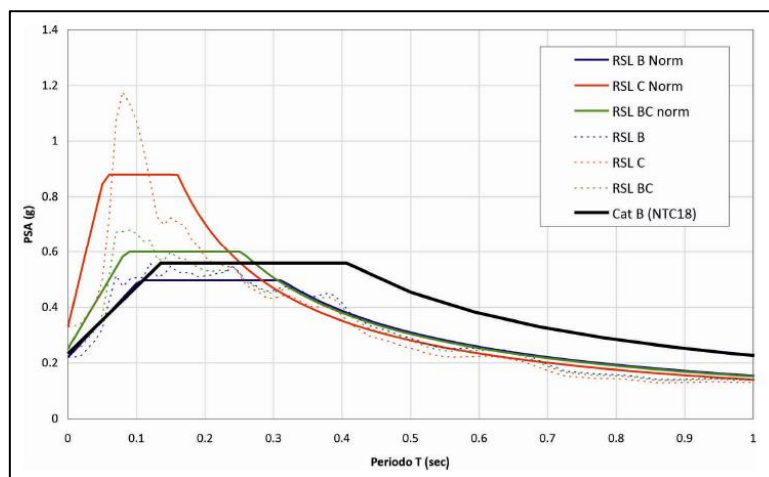


Fig. A5.5 – Confronto tra gli spettri normalizzati calcolati per la realizzazione degli studi di MS3 e lo spettro di cat. B, previsto nell'area ai sensi delle NTC18

In conclusione, le considerazioni esposte possono riguardare casi comuni nella realizzazione di studi di MS3, per i quali si tende ad una correlazione univoca tra classi di FA e spettri medi. Si è ritenuto quindi opportuno illustrare con questo esempio il problema perché il professionista incaricato degli studi possa a sua volta evidenziarlo nella relazione tecnica, valutando quale sia la modalità migliore per esporlo (mappe, note dedicate, allegati alla relazione, ecc.). Ciò al fine di rendere più chiara e veloce l'attribuzione areale degli spettri per i tecnici progettisti che utilizzeranno in futuro tali studi per la definizione della pericolosità sismica e l'azione di progetto.

APPENDICE 6

Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: approfondimenti

Obiettivo generale delle indicazioni urbanistiche è verificare che, rispetto a quanto previsto dagli strumenti di piano per quanto riguarda la mitigazione di rischio, siano rispettate almeno le condizioni minime per il raggiungimento degli **obiettivi specifici** perseguiti.

Dovranno essere effettuate le seguenti due **azioni**, in sequenza:

- **Identificazione degli obiettivi specifici** di mitigazione del rischio sismico presenti nello strumento di piano adottato, di pianificazione generale e/o di pianificazione di protezione civile:
 - Tali obiettivi possono essere stati **definiti** a livello generale dalla **normativa** (nazionale o regionale) o **direttamente** dal **piano**, e perseguiti da questo in modo esplicito;
 - Oppure possono non essere stati esplicitati, ma sono individuabili **indirettamente** all'interno dello strumento di piano;
 - Oppure possono non essere stati esplicitati, non sono individuabili, ma vengono **definiti** e **adottati** con atto esplicito da parte dell'amministrazione competente.È possibile identificare uno o più obiettivi specifici all'interno dello stesso piano.
- **Individuazione e analisi del sistema** e degli elementi di base riferiti agli obiettivi specifici di mitigazione del rischio sismico individuati dal piano:
 - Il sistema e gli elementi di base individuati devono essere verificati in funzione di **requisiti minimi** per il raggiungimento degli obiettivi specifici di mitigazione del rischio individuati dal piano. Particolare attenzione dovrà essere posta verso quegli elementi fisici (strutturali) che consentono lo svolgimento di funzioni indispensabili al raggiungimento degli obiettivi specifici stessi.

Identificazione degli obiettivi specifici

La prima azione di **identificazione degli obiettivi specifici** consiste sostanzialmente nella rilettura della normativa, ovvero, del piano al fine di identificare quanto eventualmente già espresso in tema di rischio sismico, in termini di obiettivi specifici. Gli obiettivi specifici possono essere stati espressi in forma molto dettagliata, per esempio individuando esattamente gli elementi fisici da sottoporre ad interventi, oppure in forma più generale, per esempio identificando “funzioni” delle quali garantire la continuità, senza individuare specificamente i manufatti. In entrambi i casi, l'azione di identificazione degli obiettivi specifici rappresenta la condizione preliminare per garantire la coerenza e l'esatta corrispondenza a quanto prestabilito dal piano. Per meglio distinguere più obiettivi specifici presenti all'interno dei Piani, e ricondurre in forma omogenea e confrontabile fra tutte le unità amministrative (comuni o aggregati comunali) si potrà far riferimento e utilizzare lo schema di riferimento concettuale degli **obiettivi convenzionali** sottoelencati.

Nel caso particolare in cui non siano stati identificati obiettivi specifici in modo esplicito nel Piano, si potrà ricorrere all'adozione di uno o più obiettivi convenzionali fra quelli sottoelencati. Tale/i obiettivo/i convenzionale/i potrà/anno essere considerato/i l'obiettivo minimo di un piano che includa la mitigazione del rischio sismico.

A questo fine, lo schema di riferimento concettuale utilizzabile è stato desunto da quanto fino ad oggi elaborato nell'ambito delle analisi sulla resilienza socio-economica e sulle analisi del benessere.

Lo schema di riferimento concettuale è costituito dalle seguenti **quattro** tipologie di **obiettivi convenzionali**:

- il mantenimento di quelle *condizioni che garantiscono livelli minimi e indispensabili* perché alla comunità possa essere garantita la permanenza nel contesto dopo un evento sismico, evitando, pertanto, il collasso dell'insediamento stesso (sinteticamente: **contenere il collasso**);
- il mantenimento di quelle *condizioni che determinano il benessere minimo* per l'intera comunità, salvaguardando il sistema insediativo, pur accettando forti mutamenti di condizione del sistema stesso (sinteticamente: **salvaguardare il sistema insediativo**⁸);
- il mantenimento di *quasi tutte le ulteriori condizioni insediative* che determinano il maggior benessere per l'intera comunità, evitando l'ulteriore danno per il sistema insediativo, pur accettando il mutamento di condizioni di benessere per parte o tutta la comunità (sinteticamente: **contenere il danno**);
- il mantenimento delle *condizioni esistenti* del sistema insediativo, indipendentemente dall'evento esterno (sinteticamente: **mantenere i livelli insediativi**).

I singoli obiettivi sono complementari fra di loro ed ordinati per priorità.

Oltre a questi obiettivi, viene considerato **obiettivo sovraordinato**, ossia *condizione minima necessaria e indispensabile* per la mitigazione del rischio sismico, la capacità di gestire l'emergenza (sinteticamente: **gestire le emergenze**): strategia perseguita da un piano di settore specificamente dedicato come il Piano di protezione civile, adottata a livello nazionale (Dlgs, 2018).

Identificazione e analisi del sistema

La seconda azione, **individuazione e analisi del sistema**, è strettamente connessa alla precedente, di individuazione dell'obiettivo (specifico o convenzionale).

Una volta individuato l'obiettivo (o più di un obiettivo) si potrà procedere all'individuazione del sistema e degli elementi costituenti il sistema, che possano garantire il raggiungimento dell'obiettivo stesso. È possibile distinguere tre modalità di lavoro:

1. Obiettivi e sistema sono già individuati ed esplicitati all'interno del Piano. In questo caso, si procederà alla **verifica dei requisiti minimi**, secondo una metodologia di analisi proposta.
2. Nel caso in cui il sistema non sia individuato, ma sia individuato almeno l'obiettivo specifico (o gli obiettivi specifici), si potrà procedere comunque all'**individuazione ex-novo** del sistema **rispondente ai requisiti minimi**.
3. In assenza di esplicitazione dell'obiettivo specifico di mitigazione del rischio nel piano, è possibile comunque individuare il sistema, a condizione che venga **adottato** dal soggetto istituzionale competente l'obiettivo specifico di mitigazione del rischio, facendo riferimento allo schema degli obiettivi convenzionali.

Nella figura A6.1 è riportato una ipotesi di flusso delle azioni per l'attuazione delle indicazioni urbanistiche.

⁸ In modo più esteso: salvaguardare la vita del sistema insediativo.

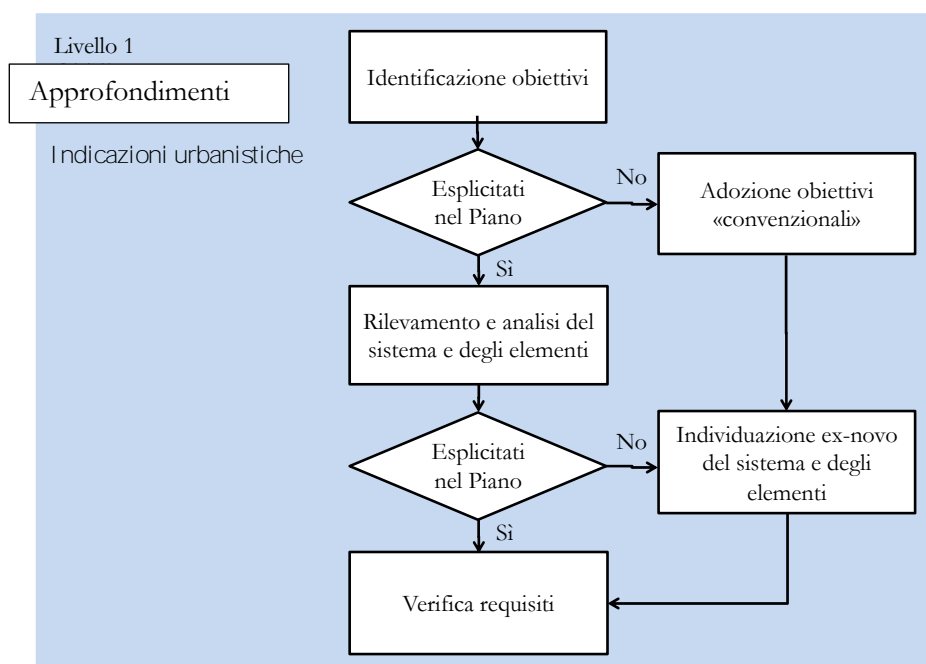


Figura A6.1 – Azioni per l’attuazione delle indicazioni urbanistiche.

Lo schema di **identificazione degli obiettivi convenzionali** e dell'**individuazione e analisi del sistema**, nonché delle metodologie di analisi proposte per la **verifica dei requisiti minimi**, viene riportato sinteticamente in tabella A6.1

| Approfondimenti | | |
|--|--|--|
| Identificazione degli obiettivi “convenzionali” | Individuazione e analisi del sistema | Verifica requisiti (Metodologie di analisi) |
| Gestire le emergenze (Piano di protezione civile) | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici strategici • Aree di emergenza • Infrastrutture di accessibilità e connessione • Aggregati strutturali interferenti • Unità strutturali interferenti • Elementi non strutturali | Analisi della CLE (Condizione Limite per l’Emergenza) |
| Contenere il collasso | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per l’istruzione • Edifici per la sanità • Edifici amministrativi • Infrastrutture di connessione e accessibilità • Impianti e infrastrutture di servizio | Analisi della CLC (Condizione Limite del Collasso) |
| Salvaguardare il sistema insediativo | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici di servizi territoriali • Edifici produttivi • Infrastrutture di connessione e accessibilità | Analisi della CLS (Condizione Limite per la Salvaguardia insediativa) |
| Contenere il danno | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per altre attività (escluso produzione beni) • Impianti e infrastrutture di servizio • Infrastrutture di connessione e accessibilità | Analisi della CLD (Condizione Limite del Danno) |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| Mantenere i livelli insediativi | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per funzionalità connesse ai beni comuni • Consistenza primaria abitativa | Analisi della CLM (Condizione Limite del Mantenimento degli insediamenti) |
|---------------------------------|--|--|

Tabella A6.1 – Indicazioni urbanistiche. Schema degli obiettivi convenzionali e delle azioni per gli approfondimenti.

APPENDICE 7

Schema di riferimento per la valutazione dell'operatività del sistema di emergenza di un Comune o di un Ambito Territoriale Omogeneo⁹

In caso di evento sismico, l'insediamento urbano (es. un Comune o più Comuni) deve conservare le funzionalità della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza e la loro connessione ed accessibilità rispetto all'esterno, sia rispetto ai fenomeni indotti dal terremoto (frane, liquefazioni, faglie attive e capaci...) sia rispetto allo scuotimento. Il sistema di gestione delle emergenze è quindi una rete complessa costituita da componenti strutturali, come edifici, infrastrutture e aree di emergenza, ed elementi non strutturali, come procedure, personale impiegato in emergenza, gestione delle informazioni, ecc. In questo capitolo si descrive il contributo della conoscenza dello scuotimento in superficie nella valutazione dell'**operatività** delle componenti strutturali del sistema di emergenza.

Sistema strutturale di emergenza di un Comune (CLE) o di un Ambito Territoriale Omogeneo (CLE di ATO)

Nella figura A7.1 è raffigurato un sistema strutturale di emergenza per un'area vasta (unione di più Comuni denominato Ambito Territoriale Omogeneo) con gli elementi fondamentali che costituiscono il sistema. Si può anche immaginare la stessa configurazione per un singolo Comune con gli edifici e le strutture fondamentali per l'emergenza (Grafo della Condizione Limite dell'Emergenza, CLE; CSM, 2014)

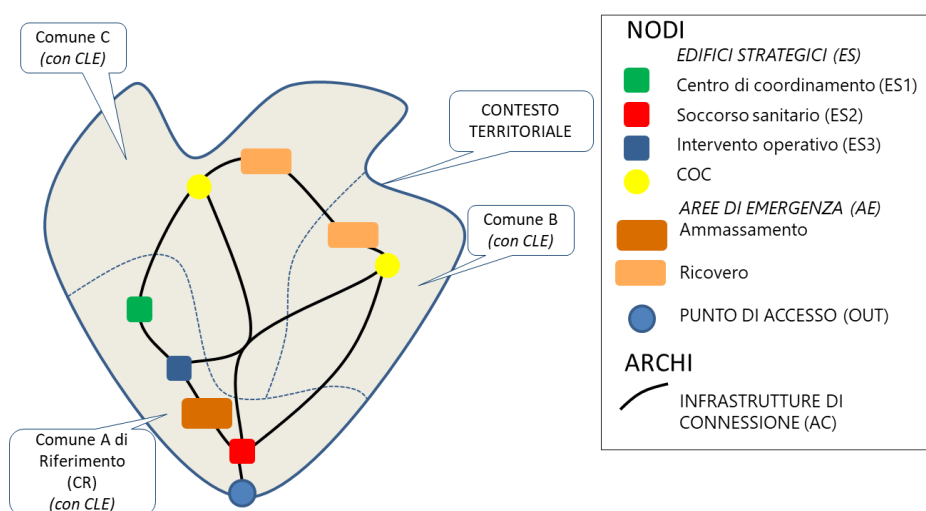


Figura A7.1 – Grafo di una CLE di ATO

Gli elementi considerati che, nel loro insieme, definiscono il sistema strutturale minimo di emergenza, sono gli elementi fisici che consentono di svolgere le attività di gestione dell'emergenza. Questi elementi sono classificabili in tre categorie:

- Edifici strategici (ES);

⁹ Il Contesto Territoriale (CT), definito metodologicamente nell'ambito del Progetto PON governance 14-20 del Dipartimento della protezione civile, è costituito da un insieme di comuni. In modo non dissimile, l'Ambito Territoriale Omogeneo (ATO) previsto dal Codice di protezione civile è costituito da un insieme di comuni, con la particolarità di avere un sistema organizzativo-gestionale definito. Ai fini dell'individuazione degli elementi fisici ricadenti nei comuni e oggetto delle valutazioni di operatività, non vi sono differenze sostanziali fra CT e ATO. Nel testo si è adottato, convenzionalmente per omogeneità di esposizione, il solo riferimento al termine ATO.

- Aree per l'emergenza (AE);

- Infrastrutture di accessibilità e connessione (AC).

- Per **Edifici strategici** si intendono gli **edifici ospitanti funzioni strategiche fondamentali**, come individuati nell'articolo 18 dell'OPCM 4007.

In particolare, per la scala di ATO:

- Edificio di **coordinamento interventi** (ES1 di ATO, ossia il Centro di Coordinamento di Ambito - CCA) individuato nel Comune di Riferimento dell'ATO (CR);
- Edificio per il **soccorso sanitario** (ES2);
- Edificio per l'**intervento operativo** (ES3 – Vigili del Fuoco);
- Edifici con funzione di coordinamento degli interventi comunali (Centri Operativi Comunali - COC) dei comuni appartenenti all'ATO

Per gli ES, quindi, sono considerati: **3 edifici strategici fondamentali per l'intero ATO** oltre ad un numero di **ES1 comunali pari al numero dei Comuni dell'ATO** diversi dal Comune di Riferimento (CR).

- Per **Aree di emergenza**, in questo ambito, si intendono:
 - un'area di ammassamento del Comune o dell'ATO;
 - un'area di ricovero per Comune o per ognuno dei Comuni appartenenti all'ATO.
- Per **Infrastrutture di accessibilità e connessione** si indicano:
 - le infrastrutture di connessione tra gli elementi ES e AE definiti ai punti precedenti (AC_conn);
 - le infrastrutture di accessibilità al / dal Comune o dall'ATO rispetto alla viabilità territoriale superiore (AC_acc).

Valutazioni qualitative dell'operatività del sistema strutturale di emergenza

Se si dispongono di analisi di scuotimento sul territorio (es. carte di PGA o H_{SM}), una prima valutazione qualitativa può essere condotta sovrapponendo il grafo della CLE o della CLE di ATO alle carte di scuotimento. Nella figura A7.2, in alto è raffigurata una CLE di ATO, in basso a sinistra la stessa CLE di ATO è sovrapposta a una carta di scuotimento e in basso a destra ad una carta di probabilità di occorrenza di frane. Come si può apprezzare, anche solo dalla semplice sovrapposizione delle carte, le AC sono soggette per gran parte del loro percorso a forti scuotimenti e alcuni ES sono fondati in aree interessate da frane sismoindotte.

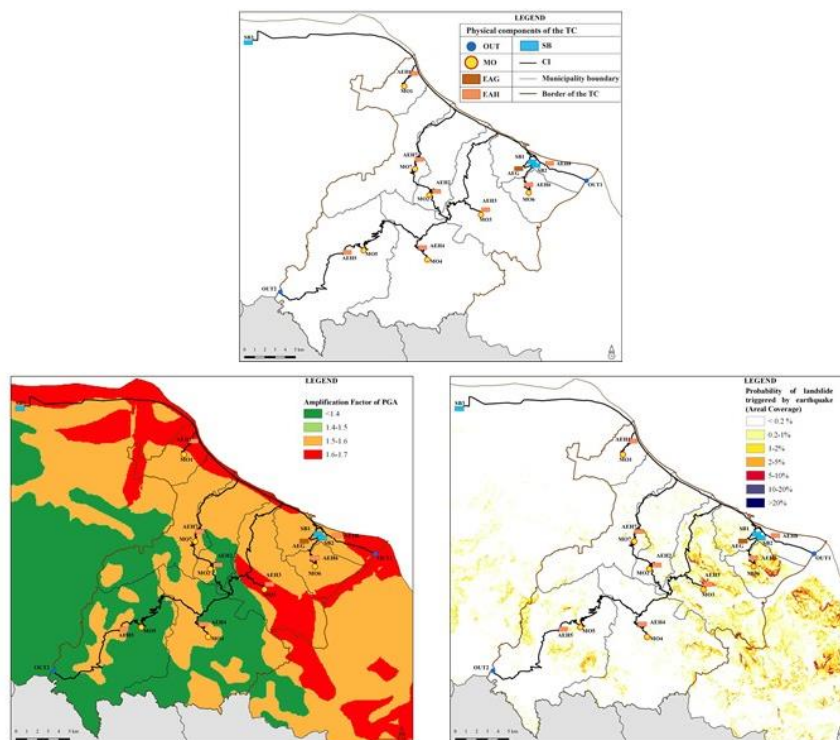


Figura A7.2 – Grafo di una CLE di ATO sovrapposto a una carta di scuotimento (fattori di amplificazione della PGA) e a una carta di probabilità di occorrenza di frana creata con valori di PGV (da Mori et alii, 2020a)

Valutazioni quantitative dell'operatività del sistema strutturale di emergenza

Per una valutazione quantitativa della **CLE comunale** si può far riferimento al lavoro di **Dolce et al. (2017, 2018)** con il metodo **I.Opà.CLE**.

Il metodo I.Opà.CLE (Indici di Operatività della CLE) è basato sulla formulazione di indici probabilistici sintetici che rappresentano la probabilità di mantenimento dell'operatività dei singoli elementi fisici, nonché del sistema emergenziale e di suoi sottosistemi, per eventi di riferimento. I.Opà.CLE è configurato per analisi a scala comunale, ma è concettualmente valido ed esportabile anche su contesti territoriali più ampi, in relazione al livello di pianificazione. Il metodo è basato su dati di partenza di natura speditiva che consentono, con sufficiente approssimazione, di evidenziare le macrocriticità del sistema fisico di emergenza, al fine di formulare possibili strategie per la loro eliminazione o riduzione. La formulazione dell'operatività del sistema di emergenza richiede, per gli elementi fisici che intervengono nell'analisi, la quantificazione della probabilità di subire un dato livello di danno, in relazione ai due eventi di riferimento considerati. Per gli edifici ordinari, il danno viene considerato sia per i suoi effetti diretti, quando ad essere compromessa è l'operatività stessa degli ES, sia per i suoi effetti indiretti, quando il possibile collasso possa compromettere o inibire la funzionalità di altri elementi strategici (AE, AC). La vulnerabilità dell'unità strutturale viene elaborata attraverso classi di vulnerabilità, analogamente alle classificazioni adottate nelle scale macrosismiche MSK77 e EMS98: le informazioni relative alle caratteristiche strutturali, geometriche e costruttive sono associate a diverse classi di vulnerabilità che vanno dalla classe A (la più vulnerabile) a D1 o D2 (meno vulnerabili, associate a muratura o calcestruzzo armato, adeguati sismicamente). Nell'attuale

implementazione di I.Opà.CLE la probabilità di danneggiamento è espressa attraverso matrici di probabilità di danno (Braga et al., 1982), che forniscono, per ciascun livello di intensità macrosismica tra il V e il XII grado, la probabilità di occorrenza di ciascun livello di danno per la classe di vulnerabilità dell'edificio in esame. Le matrici di probabilità di danno adottate in I.Opà.CLE sono quelle riferite all'intensità macrosismica IMCS (V-XII) (Di Pasquale et al., 1997, 2000), basate sull'analisi dei dati di danneggiamento di alcuni terremoti distruttivi italiani. Con riferimento ai 5 livelli di danno previsti, che vanno da D1 a D5, gli stati limite considerati nell'analisi sono:

- per gli ES: Stato Limite di Operatività (SLO), cui si associa la probabilità di non superamento del livello di danno D2;
- per gli edifici ordinari: Stato Limite di Collasso (SLC), cui si associa la probabilità di non superamento del livello di danno D4-D5.

Per una valutazione quantitativa della **CLE di ATO** invece si può far riferimento al lavoro di **Mori et al. (2020)** con il metodo **IOCT**.

La valutazione quantitativa dell'operatività del sistema prevede il calcolo dei parametri di scuotimento che consentano di quantificare i danni agli elementi strutturali del sistema (grafo della CLE e della CLE di ATO).

Nel grafo della CLE o della CLE di ATO i nodi sono distinti in:

- elementi puntuali come gli edifici e le aree di emergenza (**nodi primari**);
- baricentri geometrici degli elementi lineari (**nodi baricentrici**) come le infrastrutture stradali di collegamento;
- intersezioni tra gli elementi lineari (**nodi secondari**).

Tale suddivisione, oltre che di carattere formale, determina anche una struttura gerarchica: infatti solo nelle prime due tipologie di nodi (primari e baricentrici) è calcolata la perturbazione sismica (fenomeni transienti come accelerazione, velocità) e, conseguentemente, l'operatività degli oggetti sulla base dei loro modelli di fragilità. I nodi secondari hanno una valenza meramente topologica, comunque necessaria per la costruzione della geometria della rete.

Gli archi rappresentano le infrastrutture stradali di accessibilità e di collegamento dei nodi primari. Per le valutazioni relative all'operatività del generico tratto di infrastruttura la perturbazione è applicata al nodo baricentrico. Il livello di tale approssimazione può essere gestito variando la dimensione dei tratti elementari che compongono la rete.

A ciascun elemento del grafo sono associati degli attributi necessari per le successive valutazioni di operatività (Tab. A7.1).

| Tipologia di oggetto | Oggetto | Attributi |
|----------------------|---|--|
| Puntuale | Edifici strategici (ES) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geolocalizzazione; ▪ Identificativi; ▪ Caratteristiche tipologiche; ▪ Interferenza su infrastrutture; ▪ Modelli di fragilità da misure sull'edificio o da altri studi (se disponibili) |
| Puntuale | Centri Operativi di Coordinamento (COC) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geolocalizzazione; ▪ Identificativi; ▪ Caratteristiche tipologiche; ▪ Interferenza su infrastrutture; ▪ Modelli di fragilità da misure sull'edificio o da altri studi (se disponibili) |

| | | |
|----------|---|--|
| Puntuale | Aree di emergenza (AE , ricovero o ammassamento) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geolocalizzazione; ▪ Identificativi; ▪ Interferenza di edifici prospicienti; ▪ Modelli di vulnerabilità per fenomeni cosismici |
| Lineare | Infrastrutture (AC , connessione o accessibilità) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificativi; ▪ Geolocalizzazione di nodi origine/destinazione e nodi baricentrici; ▪ Interferenza di edifici prospicienti; ▪ Modelli di vulnerabilità per fenomeni cosismici |

Tabella A7.1 – Oggetti e attributi di un grafo del sistema di emergenza strutturale di un ATO

Le misure di scuotimento, che vengono calcolate direttamente nei nodi vulnerabili del grafo, cioè nei nodi primari e baricentrici, sono (Tab. A7.2):

- **Peak Ground Acceleration (PGA)** calcolata per tutti i nodi vulnerabili del grafo; è utilizzata nelle curve di fragilità degli edifici interferenti per valutare la probabilità di crollo e quindi le interferenze con le aree di emergenza e con le infrastrutture di connessione;
- **Peak Ground Velocity (PGV)** calcolata per tutti i nodi vulnerabili del grafo; verrà utilizzata per la valutazione delle frane e liquefazione cosismiche e quindi le interferenze con le AE e con le AC;
- **Parametro H_{SM}** per i nodi corrispondenti agli ES per i quali sono state eseguite misure *in situ* e sono stati identificati i parametri modali sperimentali; il parametro è utilizzato nelle curve di fragilità degli edifici per il calcolo della probabilità di danno.

Una prima valutazione dei fenomeni di instabilità permanente a scala vasta (scala del CT) può essere condotta con metodologie statistiche di regressione logistica:

- calcolo della **probabilità di occorrenza di frane** con la metodologia di Nowicki et al. (2018);
- calcolo della **probabilità di occorrenza di liquefazioni** con la metodologia di Zhu et al. (2017).

Entrambe queste metodologie hanno tra i parametri di ingresso lo scuotimento in superficie (**PGV**).

| Oggetti | Parametro di scuotimento | Utilizzo del parametro di scuotimento |
|-----------|--------------------------|--|
| ES COC | PGA | Curve di fragilità per il calcolo della probabilità di danneggiamento |
| | H_{SM} | Curve di fragilità per il calcolo della probabilità che gli edifici interferiscano con crolli sulle AC e le AE |
| AE AC | PGV | Probabilità di occorrenza delle instabilità di versante nei metodi statistici di regressione logistica |
| | | Probabilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione nei metodi statistici di regressione logistica |

Tabella A7.2 – Oggetti di un grafo del sistema di emergenza strutturale di un ATO e parametri di scuotimento

Il comportamento di un sistema complesso non si può desumere dalla analisi, per quanto accurata, degli elementi che lo compongono: bisogna invece osservare le interazioni tra essi. Entità semplici interagenti tra

loro e con l'ambiente circostante possono infatti dare luogo a comportamenti macroscopici non banali detti "comportamenti emergenti". Un comportamento emergente è un fenomeno collettivo: si presenta cioè spontaneamente e non grazie ad un'organizzazione centralizzata. I sistemi complessi hanno una architettura nella struttura delle interazioni che specifica quali parti di ciascun sistema interagiscono tra loro. Questa struttura interna è una rete complessa, un oggetto astratto che può essere visualizzato come un grafo (un modello matematico) in cui nodi, che corrispondono alle componenti individuali del sistema, sono collegati da legami (archi), che schematizzano le interazioni (leggermente modificato da <https://www.isc.cnr.it/public-outreach/divulgazione/scienza-della-complessita-e-teoria-delle-reti/>). Tenendo quindi presente questa breve premessa, è stata elaborata una metodologia di valutazione che si sviluppa secondo le seguenti azioni:

- l'elaborazione degli studi di **Microzonazione Sismica (MS)** e del **grafo Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)** comunali che permetteranno di analizzare e valutare il sistema di emergenza strutturale dell'ATO;
- la definizione di un sistema strutturale minimo per la gestione dell'emergenza dell'ATO, partendo dalle CLE comunali (**CLE di ATO**). Questo processo di definizione viene declinato ai fini della modellazione numerica e successiva valutazione quantitativa. Le scelte operate nella definizione del sistema a rete sono finalizzate all'ottimizzazione dello stesso, rispetto a uno o più criteri prestabiliti (indicatori di efficienza, perturbazioni legate a vari tipi di pericolosità) e alla riduzione degli oneri computazionali della successiva fase di valutazione.
- la definizione di una **pericolosità sismica stocastica**, specifica per lo studio dei sistemi a rete spazialmente distribuiti e **caratterizzata dalla correlazione spaziale** delle singole misure di intensità e di *cross* correlazione tra di esse;
- la valutazione del danno atteso e dell'operatività delle componenti strutturali e infrastrutturali del sistema a rete con **curve di fragilità** ottenute da modelli semplificati e avanzati;
- la definizione di un algoritmo per la valutazione dell'efficienza globale del sistema strutturale misurata attraverso un **Indice di Operatività strutturale dell'ATO (ioATO)** e/o una **Classe di Operatività (coATO)**;
- la definizione di **modelli di mitigazione/intervento** per ogni oggetto del sistema al fine di ottenere una stima di massima relativamente alla spesa economica per raggiungere la massima operatività strutturale o per effettuare uno o più passaggi di classe di operatività.

APPENDICE 8

Schema di riferimento per le indicazioni urbanistiche: valutazioni del piano e programmazione

Dovranno essere effettuate le seguenti due azioni:

- **Valutazione del sistema.** Valutare la capacità del sistema e degli elementi di base di sopportare modificazioni conseguenti ad eventi esterni (pericolosità sismica).
- **Programmazione.** Predisporre un programma di interventi finalizzati a mitigare tali effetti modificativi.

| Approfondimenti | | Valutazione e programmazione | |
|--|---|---------------------------------|---|
| Identificazione degli obiettivi convenzionali | Individuazione e analisi del sistema | Valutazione del sistema | Programmazione |
| Gestire le emergenze (Piano di protezione civile) | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici strategici • Aree di emergenza • Infrastrutture di accessibilità e connessione • Aggregati strutturali interferenti • Unità strutturali interferenti | Operatività strutturale CLE | Programma per l'operatività strutturale |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Elementi non strutturali | Operatività non strutturale CLE | Programma per l'operatività non strutturale |
| Contenere il collasso | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per l'istruzione • Edifici per la sanità • Edifici amministrativi • Infrastrutture di connessione e accessibilità • Impianti e infrastrutture di servizio | Operatività strutturale | Programma per l'operatività strutturale |
| Salvaguardare il sistema insediativo | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici di servizi territoriali • Edifici produttivi • Infrastrutture di connessione e accessibilità | | |
| Contenere il danno | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per altre attività (escluso produzione beni) • Impianti e infrastrutture di servizio • Infrastrutture di connessione e accessibilità | | |
| Mantenere i livelli insediativi | <ul style="list-style-type: none"> • Edifici per funzionalità connesse ai beni comuni | Operatività strutturale | Programma per l'operatività strutturale |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Consistenza primaria abitativa | Analisi di Rischio | Programma per la mitigazione del rischio |

Tabella A8.1 – Indicazioni urbanistiche. Schema delle azioni per il Programma di valutazione.

Operatività strutturale CLE

La valutazione dell'operatività strutturale della CLE può essere elaborata in funzione di due obiettivi:

- Restituire l'operatività complessiva relativamente a tutti gli elementi identificati dal Piano di protezione civile comunale (o intercomunale);
- Restituire l'operatività complessiva relativamente agli elementi considerati minimi indispensabili per la gestione dell'emergenza in un ambito territoriale.

Nel primo caso si farà riferimento a quanto rilevato attraverso l'analisi della CLE comunale.

Nel secondo caso si farà riferimento alla CLE di un ambito territoriale come identificata a partire dalle varie CLE dei singoli comuni appartenenti all'ambito territoriale.

Operatività non strutturale CLE

A complemento dell'operatività strutturale CLE, viene effettuata la valutazione dell'operatività non strutturale, con riferimento al Piano di protezione civile. Anche in questo caso, analogamente alla valutazione dell'operatività strutturale, possono essere effettuate valutazioni finalizzate a:

- Restituire l'operatività complessiva relativamente al Piano di protezione civile comunale (o intercomunale);
- Restituire l'operatività complessiva relativamente all'insieme dei piani di protezione civile di tutti i comuni appartenenti all'ambito territoriale (o al Piano di ambito territoriale).

In entrambi i casi si farà riferimento a quanto rilevato attraverso l'analisi del Piano di protezione civile (vedi Appendice 10).

Operatività strutturale

La Valutazione dell'operatività strutturale indica la metodologia generale, gli strumenti e i risultati che fanno parte del modello valutativo del sistema strutturale. Questo prevede le seguenti fasi:

- a) Individuazione di indicatori necessari per fornire una descrizione delle perdite di prestazione a seguito di un evento sismico. Gli indicatori, determinati con metodologia semplificata, sono da intendersi quale supporto nella progettazione del modello di esposizione che nell'individuazione delle priorità di studio della pericolosità sismica all'interno dell'ambito territoriale considerato;
- b) Selezione degli oggetti finalizzata alla definizione del modello degli elementi strutturali. Questo viene visivamente tradotto in un grafo di sistema a rete;
- c) Valutazione dell'operatività strutturale con l'ausilio di metodologie semplificate e avanzate (es. parametro H_{SM} per la pericolosità e indicatore per gli edifici che porta all'attribuzione di un indice di operatività strutturale).

Analisi di rischio

L'Analisi di rischio, in questo caso, è finalizzata ad attribuire un livello di rischio a ciascuna zona suscettibile di amplificazione, in funzione della Consistenza Primaria Abitativa. La singola zona, ai fini di eventuali livelli differenziati di disciplina d'uso, può essere sub ripartita, ma la valutazione del livello di rischio deve essere sempre riferita all'intera zona.

La disciplina d'uso delle zone alle quali è stato attribuito un livello di rischio è la seguente:

- non sono ammissibili interventi che determinino il passaggio ad un livello di rischio maggiore;
- per ciascuna zona devono essere individuati uno o più delle seguenti tipologie di incentivi finalizzati alla mitigazione
 - o incentivi finanziari

- incentivi urbanistici
 - incentivi edilizi
 - incentivi locali
- gli incentivi finalizzati alla mitigazione decadono dopo 10 anni se non vi è stata diminuzione del livello di rischio, e in ogni caso entro la data di decadenza dello strumento di piano cui si fa riferimento;
- dopo l'attribuzione del livello di rischio, si procede alla verifica e all'aggiornamento del livello all'inizio di ogni anno solare.

APPENDICE 9

Esempi di analisi del danno sul territorio italiano

Analisi del danno: la matrice della conoscenza

Numerose sono le esperienze italiane e internazionali sul calcolo del danno strutturale (e del rischio) sismico a scala territoriale e non è questa la sede né per una rassegna, né per una descrizione dettagliata. L'obiettivo di questa parte delle linee guida è molto semplicemente quello di fornire indicazioni sul livello di approfondimento necessario per la pericolosità sismica, a fronte di un'analisi di vulnerabilità del costruito.

In estrema sintesi, si vogliono fornire delle indicazioni per costruire una matrice personalizzata per dati informativi disponibili, obiettivi e territorio della Pericolosità e della Vulnerabilità, stabilendo il grado di conoscenza *adeguato* a ogni grandezza e *congruo* tra le due grandezze, per un'analisi del danno sismico del sistema urbano o di un sistema di area vasta (unione di Comuni, Provincia, Contesto Territoriale, ecc.). La disponibilità delle informazioni di base, quindi la "scala" di queste informazioni, dovrebbero suggerire la scala di utilizzo.

Definizioni di aree omogenee

Per un'analisi a scala territoriale è indispensabile (per le informazioni disponibili e per elaborazioni statistiche sulle informazioni) stabilire delle aree omogenee: ovvero delle aree all'interno delle quali i parametri scelti per la pericolosità e la vulnerabilità non varino o non varino eccessivamente.

Per la Pericolosità sismica l'area omogenea è la **microzona** di uno studio di microzonazione sismica (scelta obbligata non solo per la valenza verificata in vari studi ed esperienze, ma anche per la ormai ampia disponibilità di questa cartografia su tutto il territorio nazionale).

Per la Vulnerabilità è possibile individuare dei **comparti** ovvero aree con un parametro (classe) di vulnerabilità omogeneo oppure partire da **zone censuarie** e associare un parametro di vulnerabilità a ogni zona; in entrambi i casi il parametro deve essere trattato con metodi statistici. Raggruppare gli edifici in classi omogenee consente di ridurre l'incertezza epistemica nel processo di valutazione della capacità sismica. A tale scopo, la definizione di classe deve essere basata su parametri che hanno un'influenza sul comportamento sismico, ed al tempo stesso siano facilmente reperibili a larga scala. Le caratteristiche che si possono ricollegare in maniera più semplice al comportamento sismico e adottate per la definizione di classe sono: morfologia in pianta, numero di piani e normativa vigente all'epoca di costruzione. Anche in HAZUS (<https://www.fema.gov/flood-maps/tools-resources/flood-map-products/hazus/user-technical-manuals>) è adottata una classificazione simile. L'individuazione di aree omogenee per caratteristiche tipologico strutturali (con particolare attenzione alle costruzioni in muratura, che, com'è noto, sono presenti nei nostri centri storici con un'enorme varietà di configurazioni), accompagnata da analisi di dettaglio, che contemplino approfondimenti significativi in grado di sostanziare una regionalizzazione tipologico strutturale, è indirizzata a contestualizzare i dati di vulnerabilità e a fornire gli strumenti necessari per una loro più razionale utilizzazione in campo nazionale. L'individuazione ed il riconoscimento di tipologie strutturali prevalenti negli insediamenti italiani con l'utilizzo di schede di inventario di vulnerabilità (es. CARTIS, http://www.pau.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1463_2018_466_31305.pdf) rappresenta, senza dubbio, il primo passo da compiere nell'ambito di valutazioni di vulnerabilità del costruito più attente e consapevoli. Allo stato attuale i ricercatori del settore sono impegnati nella definizione di metodologie di lavoro che, sulla base di dati "poveri", consentano di ricostruire l'inventario del patrimonio edilizio nazionale.

Alcune metodologie del calcolo del danno utilizzate sul territorio italiano

Prima di presentare alcune metodologie di calcolo del danno adottate in Italia, è utile sottolineare alcune caratteristiche del calcolo della pericolosità sismica.

La **pericolosità di base** deve essere:

- stocastica; ovvero un'analisi che prevede la convoluzione di tutti i possibili scenari stocastici di pericolosità come quella riportata nel progetto "Openquake" (<https://www.globalquakemodel.org/openquake>)
- con tempi di ritorno preferibilmente a 50 e 475 anni
- elaborata con parametri di scuotimento (preferibile la PGA) o di danno (intensità macrosismica).

La **pericolosità locale** (limitatamente al fenomeno dell'amplificazione) si definisce con i seguenti parametri:

Amplificazione

- I_{MCS} e I_{EMS98}
- Fattore di Amplificazione (FA) da norma calcolato con le V_{s30} e le categorie di sottosuolo (NTC, 2018)
- H_{SM} su 3 periodi da abachi o da simulazioni numeriche.

Risonanza

- Periodi di vibrazione del terreno (T_0) della microzona sismica (aggravio di pericolosità, se gli edifici di questa microzona sono in risonanza con il terreno).

✓ Il Metodo della Regione Toscana (Regione Toscana, 2020)

Livello 1

La classe di **Pericolosità sismica** di livello 1 è riferita alla **Pericolosità di base massima** di ciascuna sezione di censimento. Per Pericolosità di base si intende l'accelerazione orizzontale massima del terreno in condizioni di suolo rigido e pianeggiante (A_g), per tempo di ritorno pari a 475 anni, così come riportato al par.3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.14.1.2008.

Sono state individuate 4 Classi di Pericolosità di base (in funzione di valori di A_g significativi che individuano a partire dal valore 0,150 g zone con pericolosità medio alta e medio bassa. In presenza di accelerazioni molto superiori ($>0,200$ g) o molto inferiori ($< 0,125$ g) sono state individuate zone a pericolosità alta o bassa

La **Vulnerabilità sismica** è stata suddivisa in 4 classi e stimata, per ciascuna sezione di censimento Istat, in forma qualitativa, sulla base dei dati statistici disponibili forniti dall'Istat. Tenuto conto dei dati statistici a disposizione e delle conoscenze consolidate in merito agli effetti dei terremoti sugli edifici, in questo ambito sono stati individuati indicatori intrinseci (rappresentati dalle caratteristiche dell'edificato censito) ed estrinseci (rappresentati dalle caratteristiche delle aree prese in considerazione) ai quali sono stati associati degli Indici di vulnerabilità. Partendo da un valore di vulnerabilità di base correlato all'epoca di costruzione degli edifici, si ricava un indice di vulnerabilità complessivo (I_v) della sezione di censimento attraverso la sommatoria di ciascun indice dei diversi fattori presi in considerazione:

Fattori intrinseci degli edifici residenziali di ciascuna sezione di censimento:

- 1) Epoca di costruzione (Vulnerabilità di base)
- 2) Tipologia strutturale
- 3) Altezza degli edifici

Fattori estrinseci riferiti a ciascuna sezione di censimento:

- 4) Vulnerabilità urbana
- 5) Tipologia costruttiva (edifici a "grande luce")
- 6) Storia della classificazione sismica

Livello 2

Per la valutazione della Pericolosità sismica di Livello 2 (tabella A9.1), si fa riferimento alla combinazione tra la Classe di Pericolosità determinata come nel livello 1 e l'Indice di **Pericolosità sismica locale (Iploc)** definita dagli studi di Microzonazione sismica disponibili, e suddivisa in 4 Indici in riferimento al Tipo di effetto locale

| Pericolosità sismica locale | Tipo di effetto locale | Indice di Pericolosità locale (Iploc) |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|
| molto elevata | zone instabili (classe S4) | 4 |
| elevata | zone stabili suscettibili di amplificazione con alto contrasto di impedenza sismica e altre tipologie di terreni (S3) | 3 |
| media | zone stabili suscettibili di amplificazione (classe S2) | 2 |
| bassa | zone stabili (classe S1) | 1 |

Tab. A9.1 – Classificazione della pericolosità sismica locale.

Per quanto riguarda la **vulnerabilità sismica** dei centri urbani, finalizzata alla realizzazione o aggiornamento degli strumenti urbanistici, si potrà fare riferimento, oltre alle valutazioni del Livello 1, anche ai risultati di eventuali analisi e studi di dettaglio su aree omogenee, individuate come zone comunali o sub-comunali (comparti), caratterizzate da omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto e/o tecniche costruttive e strutturali, eventualmente integrati con analisi puntuali, mediante l'ausilio di monitoraggi sismici e metodologie per la valutazione dinamica delle strutture, su singoli edifici rappresentativi delle suddette aree. Tali valutazioni sono rivolte sia alla validazione dei risultati statistici e sintetici del Livello 1, che alla descrizione con maggior accuratezza e dettaglio della vulnerabilità edilizia o urbana. In particolare, l'obiettivo di tali valutazioni approfondite deve essere quello di suddividere i centri urbani in aree a vulnerabilità omogenea alle quali attribuire una delle 4 classi di vulnerabilità come previsto per il Livello 1 (Fig. A9.1).

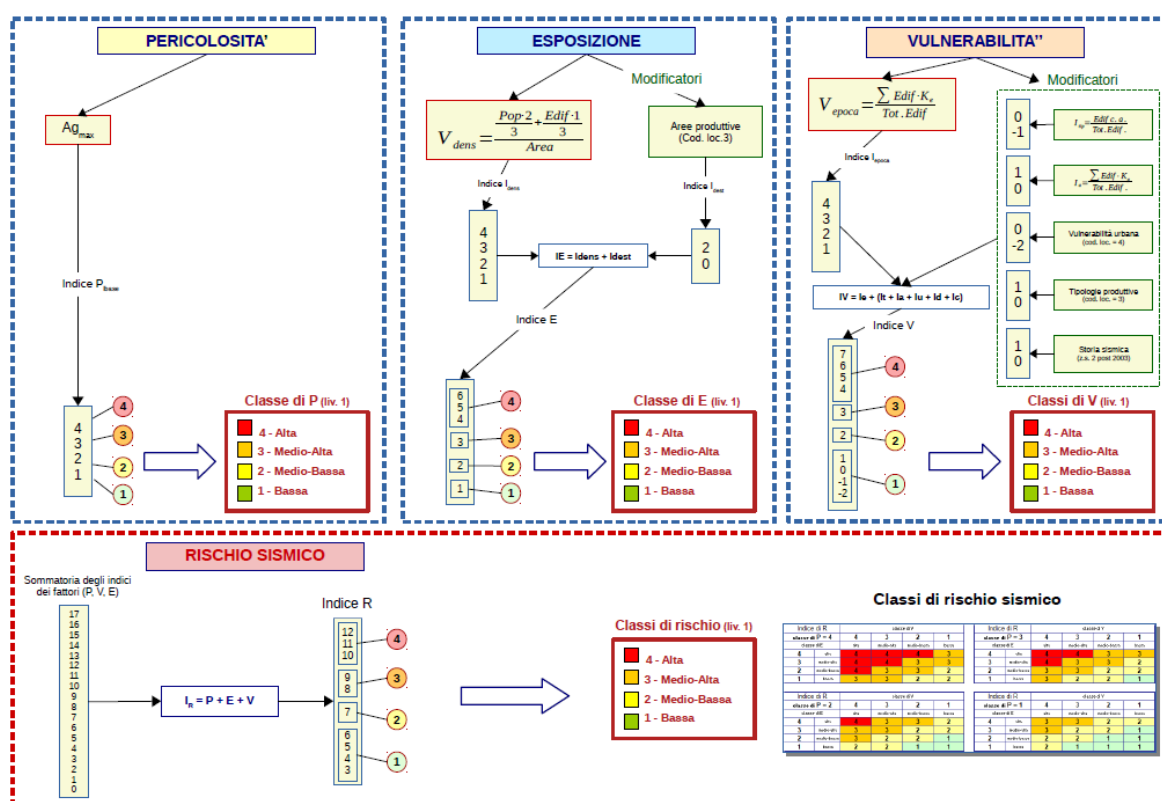


Fig. A9.1 – Metodologia per il calcolo del rischio sismico (Regione Toscana, 2020).

✓ Metodo di Lagomarsino e Giovinazzi (2006) (applicazione in Giovinazzi et alii, 2009)

La metodologia è applicata nella città di Prato. L'analisi L1 è eseguita a scala comunale, cioè per l'intero territorio del Comune. L'unità di analisi per l'analisi di livello L1 è stata identificata con la sezione censuaria. Per ciascuna sezione censuaria i dati utili per la caratterizzazione degli edifici vulnerabili sono stati desunti dal censimento ISTAT-01 (ISTAT 2001) e dalle informazioni e cartografia resi disponibili dal Comune. L'analisi di livello L2 ha interessato un campione di edifici opportunamente selezionati all'interno del territorio del Comune. Il singolo edificio è stato assunto come unità di riferimento per ogni sezione censuaria e i dati per la sua caratterizzazione sono stati rilevati attraverso un rilievo speditivo e la raccolta di informazioni dalla documentazione progettuale disponibile. Il metodo di vulnerabilità macrosismico prevede la misura della vulnerabilità attraverso un indice di vulnerabilità V e un indice di duttilità Q, entrambi stimati tenendo conto della tipologia e caratteristiche costruttive di un edificio o gruppo di edifici. La correlazione tra input sismico e danno atteso, in funzione dei parametri V e Q, è espressa in termini di una

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right]$$

curva di vulnerabilità, descritta da una funzione analitica chiusa:

dove **I** rappresenta la pericolosità sismica descritta come un parametro continuo, valutata in termini di **intensità macrosismica**, secondo la scala macrosismica europea EMS-98 (Grunthal, 1998) e rispetto a condizioni di suolo rigido; μ_D è il danno medio atteso per il gruppo di edifici.

✓ Metodo di Mori et alii (2019)

Mori et alii (2019) riprendono il metodo di Lagomarsino e Giovinazzi (2006), utilizzando il **parametro integrale di pericolosità** H_{SM} . La classificazione H_{SM} , opportunamente integrata alla classificazione di vulnerabilità EMS-98 (Grunthal, 1998), può essere utilizzata per valutare il danno medio atteso (in una microzona o in una zona censuaria), secondo la scala EMS98.

Il danno medio (μ_D) è calcolato secondo la formula riportata sopra (metodo di Lagomarsino e Giovinazzi, 2006), sulla base della I_{EMS98} ricavata dai valori di H_{SM} secondo le relazioni riportate in figura A9.2, valori rappresentativi di Vulnerabilità (V) degli edifici della microzona (o della zona censuaria), riportati in tabella Y, e un coefficiente di duttilità della struttura Q (fissato a un valore di 2.3).

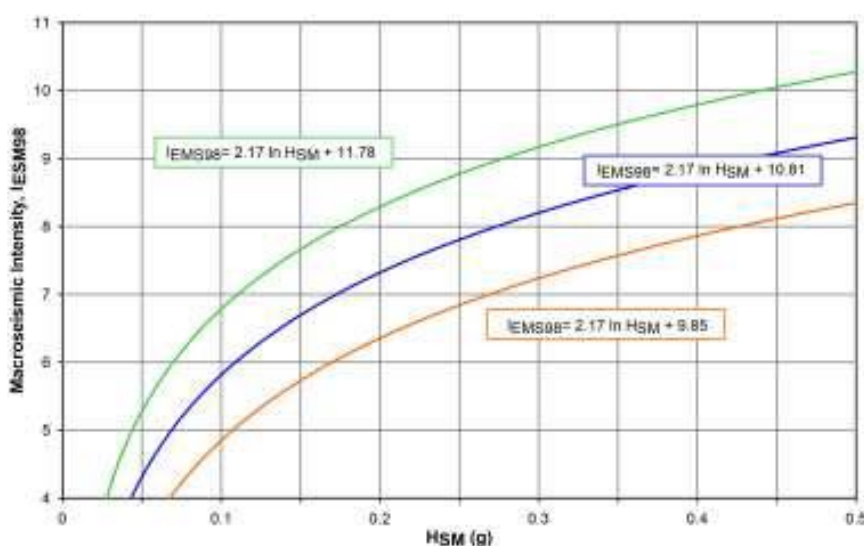


Fig. A9.2 – Relazione tra I_{EMS98} e H_{SM} (Mori et alii, 2019)

I valori medi di vulnerabilità (V) definiti in Lagomarsino e Giovinazzi (2006; Tab.A9.2) si riferiscono all'altezza degli edifici (piccola, media e grande) e corrispondono agli intervalli T1, T2 e T3.

| <i>Vulnerability Class [EMS98]</i> | <i>Building type</i> | $T_1=0.1-0.5s$ | $T_2=0.4-0.8s$ | $T_3=0.7-1.1s$ |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| E | Shear walls high ERD | 0.144 | 0.224 | 0.304 |
| | RC frame high ERD | 0.244 | 0.324 | 0.404 |
| D | Shear walls moderate ERD | 0.304 | 0.384 | 0.464 |
| | Confined Masonry | 0.371 | 0.451 | 0.531 |
| | RC frame moderate ERD | 0.404 | 0.484 | 0.564 |
| C | Shear walls without ERD | 0.464 | 0.544 | 0.624 |
| | URM with RC floors | 0.536 | 0.616 | 0.696 |
| | Massive stone | 0.536 | 0.616 | 0.696 |
| | RC frame without ERD | 0.564 | 0.644 | 0.724 |
| B | URM old bricks | 0.66 | 0.74 | 0.82 |
| | Simple stone | 0.66 | 0.74 | 0.82 |
| A | Adobe | 0.76 | 0.84 | 0.92 |
| | Rubble stone | 0.793 | 0.873 | 0.953 |

Tab. A9.2 – Valori medi dell'indice di vulnerabilità (V; Lagomarsino e Giovinazzi, 2006)

Nella figura A9.3 sono riportati i valori di danno medio nella scala EMS98 (D0-D5) per i tre intervalli di periodo.

| a) $T_1=0.1-0.5 s$ | $H_{SM}[g]$ HAZARD CLASS | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | LOW | MODERATE | HIGH | VERY HIGH |
| | ≤ 0.21 | 0.22-0.54 | 0.55-0.85 | ≥ 0.86 |
| VULNERABILITY CLASS EMS98 | AVERAGE EMS98 DAMAGE GRADE | | | |
| E | D0 | D0 | D0-D1 | D1-D2 |
| D | D0 | D0-D1 | D1 | D1-D3 |
| C | D0 | D0-D1 | D1-D2 | D2-D4 |
| B | D0-D1 | D1-D2 | D2-D3 | D3-D4 |
| A | D0-D1 | D1-D3 | D3-D4 | D4-D5 |

| b) $T_2=0.4-0.8s$ | $H_{SM}[g]$ HAZARD CLASS | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | LOW | MODERATE | HIGH | VERY HIGH |
| | ≤ 0.14 | 0.15-0.34 | 0.35-0.55 | ≥ 0.56 |
| VULNERABILITY CLASS EMS98 | AVERAGE EMS98 DAMAGE GRADE | | | |
| E | D0 | D0 | D0-D1 | D1-D2 |
| D | D0 | D0-D1 | D1-D2 | D2-D3 |
| C | D0 | D0-D2 | D2-D3 | D3-D4 |
| B | D0-D1 | D1-D3 | D3-D4 | D4-D5 |
| A | D0-D1 | D1-D3 | D3-D4 | D4-D5 |

| c) $T_3=0.7-1.1$ s | $H_{SM}[g]$ HAZARD CLASS | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | LOW | MODERATE | HIGH | VERY HIGH |
| | ≤ 0.09 | 0.10-0.22 | 0.23-0.35 | ≥ 0.36 |
| VULNERABILITY CLASS EMS98 | AVERAGE EMS98 DAMAGE GRADE | | | |
| E | D0 | D0-D1 | D1 | D1-D3 |
| D | D0-D1 | D1 | D1-D2 | D2-D4 |
| C | D0-D1 | D1-D2 | D2-D3 | D3-D4 |
| B | D0-D1 | D1-D3 | D3-D4 | D4-D5 |
| A | D0-D2 | D2-D4 | D4 | D4-D5 |

Fig. A9.3 - Valori di danno medio del danno nella scala EMS98 (D0-D5) per i tre intervalli di periodo (Mori et alii, 2019). In grigio le classi di danno che possono coinvolgere la sicurezza della vita. Le classi sono associate a una probabilità del 10% in 50 anni.

BIBLIOGRAFIA

- Braga F., Dolce M., Liberatore D. (1982). Southern Italy November 23, 1980 earthquake: a statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 Scale. In: Proceedings of 7th European conference on earthquake engineering. CNR-PFG. 503
- CSM, Commission for seismic microzonation (2014). Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano. draft 1.0. Betmultimedia, Rome, pp 154–175
- COMMISSARIO DEL GOVERNO PER LA RICOSTRUZIONE NEI TERRITORI INTERESSATI DAL SISMA DEL 24 AGOSTO 2016 (2016). Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto-legge n. 189 del 2016. Modifiche alle ordinanze n. 24 del 12 maggio 2017, n. 39 dell'8 settembre 2017 e n. 51 del 29 marzo 2018. Proroga del termine di cui all'articolo 8, comma 4, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, convertito con modificazioni dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229, e s.m.i.
- Di Pasquale G., Orsini G. (1997). Proposta per la valutazione di scenari di danno conseguenti ad un evento sismico a partire dai dati Istat. In: Proceedings of 8th Congress L'ingegneria Sismica in Italia organized by ANIDIS, Taormina, Italy, 21–24 September
- Di Pasquale G., Orsini G., Romeo R. (2000). Sensitivity analysis in seismic risk assessment. In: Proceedings of the 6th international conference on seismic zonation. Palm Springs, CA
- Dlgs (2018) - Decreto Legislativo n.1 del 2 gennaio 2018: Codice della protezione civile 02 gennaio 2018. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 17 del 22 gennaio 2018. Entrata in vigore del provvedimento 6 febbraio 2018
- Dolce M., Speranza E., Bocchi F., Conte C. (2017). Indici di Operatività per la valutazione della condizione Limite di Emergenza (I.OPà.CLE): risultati della sperimentazione. In: Proceedings of the 17th congress. L'ingegneria Sismica in Italia, organised by ANIDIS, Pistoia, Italy, September 17–21
- Dolce M., Speranza E., Bocchi F., Conte C. (2018). Probabilistic assessment of structural operational efficiency in emergency limit conditions: the I.OPà.CLE method. Bull Earthquake Eng <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0327-7>
- Eurocode 8-EN 1998-1, 1998: General rules, seismic actions and rules for buildings. CEN European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium
- GdL MPS – Gruppo di Lavoro per la Mappa di Pericolosità Sismica, 2004: Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274 All. 1. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65pp. + 5 allegati, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>
- Giovinazzi S, Fiaschi A, Matassoni L (2009) - Strumenti per la Valutazione e la Programmazione di Interventi di Mitigazione del Rischio Sismico a Scala Comunale: un Caso Studio. Proc. of ANIDIS 2009, Bologna – Italy (in Italian)
- Grünthal G. (1998) - European Macroseismic Scale 1998 EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ; 15), Luxembourg : Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 101

ICMS - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 2008: Linee Guida per la Microzonazione Sismica, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma. 3 Vol. e 1 Dvd.

<https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/9-guidelines-for-seismic-microzonation>.

Lagomarsino S., Giovinazzi S. (2006) - Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* November 2006, Volume 4, Issue 4, pp 415–443

Mori F., Gaudiosi I., Tarquini E., Bramerini F., Castenetto S., Naso G., Spina D. (2020). HSM: a synthetic damage-constrained seismic hazard parameter. September 2020 *Bulletin of Earthquake Engineering* 18(4). DOI: 10.1007/s10518-019-00677-2

Mori F., Gena A., Mendicelli A., Naso G., Spina D. (2020). Seismic emergency system evaluation: the role of seismic hazard and local effects. *Engineering Geology* 270 (2020) 105587

Nowicki J.M.A., Hamburger M.W., Allstadt K., Wald D.J., Robeso, S.M., Tanyas H., Hearne M., Thompson, M. (2018). A Global Empirical Model for Near-Real-Time Assessment of Seismically Induced Landslides. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 123:1835-1859 doi: 10.1029/2017JF004494

NTC - Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018: Decreto Ministero Infrastrutture. GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8

Regione Toscana (2020) - Allegato 1 dell'All. A della delibera di Grt n. 31 del 30 gennaio 2020.

Sieberg A. (1930). *Geologie der Erdbeben, Handbuch der Geophysik*, 2, 4, 552-55

Von Thun J.L., Rochim L.H., Scott G.A., Wilson J.A., 1988: Earthquake ground motion for design and analysis of dams. In *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II – Recent Advance in Ground-Motion Evaluation*, Geotechnical Special Publication 20, ASCE, New York, 463-4

Zhu J., Baise L. G., Thompson E. M. (2017). An Updated Geospatial Liquefaction Model for Global Application. *Bullettin of the Seismological Society of America* 107:3 doi: 10.1785/0120160198

Rapporto del Gruppo di lavoro¹⁰ sull'applicabilità degli abachi per la microzonazione sismica di livello 2¹¹.

Introduzione

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base a eventuali amplificazioni del moto sismico o a eventuali effetti di instabilità permanenti indotti dal moto del suolo, è uno degli strumenti più efficaci per la conoscenza e la rappresentazione della pericolosità sismica locale. La MS è quindi anche uno strumento particolarmente importante per la corretta attuazione, fin dalle prime fasi della programmazione territoriale e della pianificazione urbanistica, delle politiche e strategie di prevenzione e mitigazione del rischio sismico.

L'esigenza di realizzare in maniera diffusa studi di MS si è concretizzata, in particolar modo, all'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale e della proposta di nuove norme tecniche delle costruzioni, entrambe pubblicate con l'OPCM n. 3274/2003. Con l'entrata in vigore di tale riclassificazione, tutti i Comuni risultano classificati sismici secondo 4 classi a pericolosità sismica decrescente (classe 1 = pericolosità massima, classe 4 = pericolosità minima). Ciò ha comportato l'estensione a tutto il territorio delle azioni di prevenzione e mitigazione del rischio sismico, fino ad allora non richieste per i Comuni non classificati.

Successivamente, a seguito dell'entrata in vigore della legge 24 giugno 2009, n. 77 e dell'attuazione dell'art.11 previsto dalla medesima legge, gli studi di MS hanno subito una forte accelerazione grazie anche ai finanziamenti previsti per la loro realizzazione e agli standard tecnici per la loro realizzazione e informatizzazione che sono state nel tempo predisposte, migliorate ed aggiornate.

Per favorire la massima diffusione degli studi di MS, gli Enti preposti al governo del territorio (Regioni e Amministrazioni Locali) hanno avvertito la necessità di definire criteri e procedure che permettessero di acquisire ed elaborare i dati con costi e tempi contenuti, garantendo comunque l'attendibilità scientifica degli elaborati finali. Sono state così definite procedure che, sulla base di dati litostratigrafici (spessore delle coperture = depositi di riempimento della valle o bacino, profondità e tipo di substrato), geotecnici e geofisici (velocità di propagazione delle onde S, Vs, nell'intervallo di copertura considerato) acquisiti con

¹⁰ Hanno partecipato al gruppo di lavoro "Abachi":

Dario Albarello, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

Massimo Baglione, *Regione Toscana - Settore Sismica*

Simone Barani, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Daniele Bottero, *Regione Liguria – Settore Assetto del Territorio*

Sergio Castenetto, *Dipartimento della Protezione Civile - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*

Antonio Colombi, *Regione Lazio – Agenzia Regionale di Protezione Civile*

Massimo Compagnoni, *Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*

Vittorio D'Intinosante, *Regione Toscana – Settore Sismica*

Roberto De Ferrari, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Eugenio Di Loreto, *Regione Lazio - Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative*

Pierangelo Fabbri, *Regione Toscana - Settore Sismica*

Gabriele Ferretti, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Luca Martelli, *Regione Emilia-Romagna - Servizio geologico, sismico e dei suoli*

Giuseppe Naso, *Dipartimento della Protezione Civile - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*

Florian Pergalani, *Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*

Giacomo Peruzzi, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

Daniele Spallarossa, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Alberto Tento, *Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per le Dinamiche dei Processi Ambientali*

¹¹ Rapporto inviato al Presidente della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica in data 29 gennaio 2016

indagini di tipo corrente, permettono la stima dell'amplificazione in superficie con fattori di amplificazione (FA) calcolati tramite abachi (MS di secondo livello di approfondimento o livello 2; ICMS, 2008).

In genere, i FA indicati nei vari abachi regionali, fin qui emanati dalle Regioni Lombardia, Emilia-Romagna, Lazio, Toscana e Liguria (Albarelli e Peruzzi, 2014; Regione Lombardia, 2005; Regione Emilia-Romagna, 2007; Regione Lazio, 2011; Regione Liguria, 2015; Regione Toscana, 2015; Tenta et al., 2014), sono espressi come il rapporto, per un determinato intervallo di periodi T , tra il moto alla superficie del sito d'interesse e il moto alla superficie di un sito di riferimento, calcolato secondo la seguente relazione:

$$FA = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Sa dT}{\int_{T_1}^{T_2} Sb dT}$$

dove Sa è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione o velocità) della componente orizzontale del moto sulla superficie libera al di sopra della copertura, Sb è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione o velocità) al sito di riferimento, T_1 e T_2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodi considerati. In genere, i valori di FA considerati fanno riferimento a due intervalli di T : uno relativo ai corti periodi ($T_1=0.1$ s e $T_2=0.5$ s) ed uno a più lunghi periodi ($T_1 = 0.5$ s e $T_2=1.0$ s).

I risultati ottenuti con l'applicazione degli abachi non danno nessuna indicazione sulla forma degli spettri elastici di risposta in superficie.

Gli abachi sono stati definiti sulla base di modellazioni 1D di casi reali ritenuti caratteristici e significativi del contesto litologico, geotecnico e geofisico locale proprio di ciascuna regione. I valori dei vari FA riportati negli abachi regionali corrispondono a diversi percentili (84% per gli abachi Regione Emilia-Romagna, 75% per gli abachi Regione Toscana e Liguria, 50% per gli abachi Regioni Lazio e Regione Lombardia) del totale dei casi studiati per l'intervallo di periodi T considerati.

Le analisi effettuate per la costruzione degli abachi, essendo modellazioni 1D, non tengono conto delle variazioni laterali della litostratigrafia che si possono verificare nelle valli strette, nei bacini intramontani o nelle zone di passaggio tra rilievi e aree pianeggianti. In generale, la presenza di morfologie sepolte può dare origine a fenomeni di interferenza capaci di aumentare il livello di scuotimento sismico del suolo più di quanto avvenga in condizioni 'unidimensionali' ovvero in presenza di stratificazioni piano-parallele caratterizzate da marcati contrasti di impedenza sismica al loro interno.

Questi fenomeni possono essere associati a tre tipi di processo:

- generazione di nuove fasi sismiche (onde superficiali) al bordo del bacino,
- fenomeni di focalizzazione delle onde di volume generati dalle geometrie sepolte
- risonanza complessiva del bacino sepolto.

In tali contesti le modellazioni 1D possono sottostimare l'amplificazione e quindi per un'analisi più realistica della risposta sismica può essere necessario ricorrere a modelli più complessi (2D o 3D). Pertanto, ai fini di una più corretta applicazione degli studi di MS, in particolare di quelli di secondo livello di approfondimento, occorre definire il campo di validità degli abachi, ovvero in quali contesti geologici e geomorfologici gli abachi forniscono stime adeguate dell'amplificazione e in quali invece forniscono sottostime.

Per quanto riguarda la risonanza complessiva del bacino, gli ICMS (2008) chiedono di identificare e rappresentare già nelle mappe di primo livello, con apposito simbolo, l'eventuale presenza di valli strette, tramite la stima del coefficiente di forma $C=b/l$, dove b è lo spessore della coltre di copertura (o profondità della valle) e l la semiampiezza della valle; se $C>0,25$ la valle è considerata stretta. Per l'utilizzo degli abachi negli studi di secondo livello gli ICMS (2008) (cfr § 2.5.2 "Limiti di utilizzo degli abachi") chiedono poi di verificare, dalle mappe di primo livello, la presenza delle seguenti condizioni:

- forme di superficie che possono determinare amplificazioni topografiche;
- geometria articolata del substrato geologico sepolto che potrebbe determinare effetti 2D;
- importanti inversioni di V_s ;
- condizioni di instabilità.

La presenza di tali condizioni potrà indirizzare verso l'utilizzo di metodi più complessi per la stima delle amplificazioni.

In particolare, per la verifica della presenza di forme sepolte del substrato viene consigliato di fare riferimento all'approccio semplificato proposto da Bard e Bouchon (1985). Tale valutazione può essere effettuata con la formula

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

dove h è la profondità della valle o massimo spessore della coltre di copertura, l la semiampiezza della valle e C_V il rapporto tra V_S del substrato e V_S media dei terreni di riempimento della valle o bacino.

Se l'equazione è verificata sarà possibile stimare l'amplificazione con modelli 1D, altrimenti è necessario ricorrere ad analisi 2D a causa dell'attesa presenza di fenomeni di risonanza complessiva del bacino.

In ICMS (2008) non viene però riportato nessun criterio per l'identificazione degli altri due fenomeni di potenziale interesse (presenza di onde superficiali e fenomeni di focalizzazione).

D'altro canto, la possibile presenza di fenomeni di questo tipo può rendere inefficace l'impiego di abachi semplificati nella MS di livello 2. In particolare, risulta importante valutare in quali condizioni (distanza dal bordo del bacino, entità del contrasto di impedenza sismica al fondo di questo, ecc.) gli FA possano risultare errati per difetto, fornendo indicazioni poco cautelative. Questo problema è della massima importanza. Infatti, data la conformazione fisica del territorio italiano, gran parte dei centri abitati e produttivi si sono sviluppati proprio nel fondovalle e nelle conche intramontane, dove le conoscenze geologiche disponibili confermano importanti variazioni litostratigrafiche laterali.

Per questo motivo i tecnici di alcune Regioni, del DPC ed esperti di settore impegnati nella realizzazione di studi di MS e linee guida hanno avvertito la necessità di confrontarsi per valutare le potenzialità e i limiti di applicazione delle procedure di stima dell'amplificazione di abachi nei contesti regionali d'interesse.

L'obiettivo del presente documento è quindi quello di poter fornire indicazioni di carattere generale in merito alle condizioni di applicabilità dei metodi semplificati (abachi regionali) in funzione della complessità del modello geologico-tecnico di sottosuolo.

Metodo di analisi

Gli Enti territoriali che hanno partecipato a tale gruppo di lavoro dispongono di conoscenze e dati che permettono di ricostruire un'ampia casistica di situazioni geomorfologiche e litostratigrafiche: dalle valli strette e profonde della Liguria e della dorsale appenninica, ai bacini intramontani (*graben*) della Toscana, alle valli ampie dell'Appennino emiliano, ai margini catena-pianura dell'Emilia-Romagna, della Toscana e del Lazio.

Ogni Regione ha quindi proposto una serie di sezioni schematiche rappresentative di situazioni geologiche e geomorfologiche ricorrenti, dunque significative del proprio territorio, caratterizzate da importanti variazioni laterali di geometria e spessore dei terreni di copertura¹² o della profondità delle discontinuità litologiche capaci di determinare rilevanti contrasti di impedenza sismica, assimilabili perciò al tetto del substrato¹³.

Tali situazioni sono state oggetto di stima dell'amplificazione sismica tramite abachi e modellazioni 1D in siti spaziatosi ad intervalli regolari e modellazioni 2D lungo l'intera sezione; i risultati sono stati quindi confrontati al fine di verificare le differenze tra i fattori di amplificazione FA ottenuti con analisi 2D e quelli ottenuti con analisi 1D e con abachi.

Le varie sezioni oggetto delle modellazioni differiscono per differenti valori dei seguenti parametri:

- ampiezza della valle;

¹² terreni di copertura: depositi di riempimento della valle o del bacino caratterizzati da V_S media < 500 m/s, comunque inferiore o uguale alla metà della V_S del corpo roccioso sottostante più rigido, assimilabile a substrato.

¹³ substrato: corpo roccioso o deposito caratterizzato da V_S > 400 m/s e almeno doppia rispetto alla V_S del deposito soprastante (copertura).

- spessore dei terreni di copertura (depositi di riempimento della valle o del bacino) o profondità del substrato;
- inclinazione dell'interfaccia copertura/substrato, vale a dire pendenza del bordo della valle o del bacino;
- densità, smorzamento e V_s dei terreni di riempimento della valle o bacino (copertura);
- densità, smorzamento e V_s del substrato.

In sintesi, sono state modellate, a cura degli esperti dell'Università di Siena - DSTA, CNR-IDPA Milano, Politecnico di Milano – DICA, valli di ampiezza variabile da poche centinaia di metri (200 m, valle stretta) ad oltre 1,5 km (1600 m, valle ampia o bacino intramontano), con spessore di copertura variabile da poche decine di metri (20 m) ad oltre 100 m (150 m, valle profonda) e diversa inclinazione, ai bordi, dell'interfaccia copertura/substrato. Le densità dei terreni sono state assunte dell'ordine di 1,6-2 g/cm³ per i terreni della copertura e 2,1-2,3 g/cm³ per il substrato; le V_s della copertura sono state assunte variabili tra 200 e 500 m/s mentre le V_s del substrato sono state assunte variabili tra 400 e 1400 m/s in maniera da simulare sempre contrasti di impedenza substrato/copertura almeno pari a 2, fino a 4 ($2 \leq v \leq 4$).

Simulazioni di valli ancora più ampie di quelle modellate non hanno fornito differenze significative. La situazione di margine catena-pianura non è stata modellata in quanto ritenuta analoga a quella di uno dei bordi di una valle ampia.

Informazioni dettagliate sulle sezioni modellate mediante diversi codici di calcolo in campo 1D o 2D (SHAKE, STRATA, QUAD4M, BESOIL, Bard & Gariel, 1986), sulle procedure di analisi e sui risultati ottenuti sono riportate nelle Appendici 1, 2 e 3 in cui sono indicate in dettaglio anche alcune valutazioni generali emerse dal confronto dei risultati¹⁴.

Sintesi dei risultati

Dalle analisi effettuate è emerso quanto segue:

- nelle zone di bordo le modellazioni 1D forniscono molto spesso valori di FA compatibili, e talvolta anche più conservativi, delle modellazioni 2D;
- nelle restanti porzioni si nota che:

1) nel caso di valle ampia l'amplificazione dovuta a effetti 2D tende a crescere verso il centro della valle fino ad una certa distanza dal bordo P (che approssimativamente può essere stimata con la seguente formula $P = D/2 + 140$); tale distanza è proporzionale all'interfaccia (geometria e sua inclinazione) copertura/substrato, al valore del rapporto $V_{s\text{substrato}}/V_{s\text{media}}$ della copertura e, a parità di questo, anche al valore della V_s media della copertura; verso il centro della valle non si osservano differenze significative tra amplificazione 2D e 1D;

2) nel caso di valle stretta la rilevanza degli effetti 2D aumenta con lo spessore della copertura, si estende per tutta la superficie della valle ed è più significativa al centro, dove si possono verificare discrepanze non trascurabili tra l'amplificazione stimata tramite analisi 1D e 2D;

- si osserva una buona applicabilità della relazione di Bard e Bouchon (1985);
- infine, nei casi di bassi valori della V_s media della copertura (≤ 200 m/s) si osserva, verso il centro della valle, un effetto di focalizzazione delle onde.

Questi risultati riguardano i soli valori di FA; differenze nelle forme spettrali possono, invece, essere assai significative.

In sintesi, gli abachi possono essere utilizzabili sempre quando si verificano simultaneamente le seguenti condizioni:

- se si è in presenza di una valle ampia (ICMS, 2008) con coefficiente di forma $C < 0,25$;

¹⁴ Le Appendici 1, 2 e 3 del presente rapporto sono consultabili sul sito web del Centro MS (<https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/category/41-appendici>)

- in presenza di bacini con spessore delle coperture indicativamente superiori a 50 m, quando il rapporto $V_{s\text{substrato}}/V_{s\text{media}}$ della copertura è minore di 3;
- in presenza di bacini con spessore delle coperture indicativamente inferiori a 50 m, quando il rapporto $V_{s\text{substrato}}/V_{s\text{media}}$ della copertura è minore di 4;
- quando è verificata la relazione di Bard e Bouchon (1985).

Pertanto, in considerazione anche del fatto che finora, nelle aree d'interesse, non sono stati riscontrati contrasti di impedenza maggiori di 4, gli abachi, e quindi il secondo livello di approfondimento, trovano una vasta applicazione negli studi di microzonazione sismica. Tale risultato, è imputabile anche al carattere assai conservativo degli abachi regionali fin qui prodotti.

I risultati ottenuti valgono per le geometrie esaminate, che rappresentano una casistica sufficientemente rappresentativa per i territori regionali d'interesse; tali risultati potrebbero non essere confermati per geometrie significativamente differenti.

In appendice¹⁵ sono sviluppate le procedure che permettono di verificare se ci si trovi in situazione di applicabilità o meno degli abachi.

Bibliografia

Albarelli D., Peruzzi G., 2014: Abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche finalizzati alla redazione di carte di microzonazione sismica di livello II. Disponibile in http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/formazione/pubblicazioni/microzonazione/02_ps_locale/02_cap10.htm

Bard P. Y., Bouchon M., 1985: The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 75, N. 2, 519-541.

Bard P. Y., Gariel J. C., 1986: The seismic response of two-dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradient. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 76, 343-346.

ICMS, 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 515 pp., disponibile in http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137

Rathje E.M., Kottke A., 2013: Strata. Disponibile in <http://nees.org/resources/strata>

Regione Emilia-Romagna, 2007: Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. Delibera dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007

Regione Lazio, 2011: DGR n. 490 del 21 ottobre 2011 - Approvazione degli Abachi Regionali per gli studi di Livello 2 di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545 del 26 novembre 2010 e procedure di applicazione nell'ambito del rilascio del parere ai sensi dell'art. 89 del DPR del 6 giugno 2001 n. 380. Modifica alla DGR Lazio n. 545/2010.

Regione Toscana, 2015: Del. G.R.T. n.144 del 23 febbraio 2015 – Approvazione nuove specifiche tecniche per la redazione degli studi di Microzonazione Sismica e abachi litostratigrafici regionali per la redazione di studi di MS di livello 2

Regione Liguria, 2015: Abachi Regionali per l'amplificazione stratigrafica (Contratto di servizio tra Regione Liguria e DISTAV dell'Università degli studi di Genova, G. Ferretti, D. Spallarossa, S. Barani, R. De Ferrari)

¹⁵ Le Appendici 1, 2 e 3 del presente rapporto sono consultabili sul sito web del Centro MS (<https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/41-appendici>)

- Regione Lombardia, 2005: D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12” e s.m.i. (D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 – D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011)
- Sanò T., 1996: BESOil: un programma per il calcolo della propagazione delle onde sismiche. Rapporto tecnico SSN/RT/96/9
- Tento A., Martelli L., Marcellini A., 2014: Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna. Atti del 33° convegno GNGTS, Bologna 25-27 novembre 2014, Tema 2 “Caratterizzazione sismica del territorio”, 289-294