



**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 liquefazione (LQ)**

versione 1.0

Roma, 2017



## Microzonazione sismica

### Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ)

Versione 1.0

A cura di

Fabrizio Brammerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC), Giacomina Di Salvo (CNR – IGAG), Carolina Fortunato (DPC), Margherita Giuffrè (CNR – IGAG), Giuseppe Naso (DPC), Veronica Scionti (CNR – IGAG)

Gruppo di lavoro

Massimo Baglione (Regione Toscana), Antonio Colombi (Regione Lazio), Valter Fabietti (Università di Chieti-Pescara), Maria Ioannilli (Università di Roma – Tor Vergata), Luca Martelli (Regione Emilia-Romagna), Massimo Olivieri (Università di Roma – La Sapienza), Bruno Quadrio (CNR-IGAG), Diego Lo Presti (Università di Pisa), Giovanni Vannucchi (Università di Firenze)

Dario Albarello (Università di Siena) ha curato una parte del capitolo dedicato all'individuazione della magnitudo di riferimento per il calcolo della pericolosità per liquefazione.

#### **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 Brammerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC, segreteria tecnica), Serafino Frisullo (Collegio nazionale geometri), Giuseppe Ianniello (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti), Luca Lo Bianco (UNCCEM), Luca Martelli (Conferenza Unificata), Rossella Monaco (Conferenza Unificata), Raffaele Nardone (Consiglio nazionale dei Geologi), Giuseppe Naso (DPC), Antonio Ragonesi (ANCI), Fabio Sabetta (DPC), Raffaele Solustri (Consiglio nazionale degli Ingegneri), Elena Speranza (DPC)

#### **Rappresentanti delle Regioni e delle Province autonome**

Maria Basi (Regione Abruzzo), Gerardo Colangelo (Regione Basilicata), Giovanna Petrungero (Regione Calabria), Crescenzo Minotta (Regione Campania), Luca Martelli (Regione Emilia - Romagna), Graziano Cecchi (Regione Friuli-Venezia Giulia), Adelaide Sericola (Regione Lazio), Daniele Bottero (Regione Liguria), Silvio De Andrea (Regione Lombardia), Pierpaolo Tiberi (Regione Marche), Rossella Monaco (Regione Molise), Vittorio Giraud (Regione Piemonte), Angelo Carlo Silco (Regione Puglia), Andrea Motti (Regione Umbria), Massimo Baglione (Regione Toscana), Massimo Broccolato (Regione Valle d'Aosta), Enrico Schiavon (Regione Veneto), Giovanni Spampinato (Regione Sicilia), Saverio Cocco (Provincia Autonoma di Trento), Claudio Carrara (Provincia Autonoma di Bolzano)

#### **Hanno inoltre partecipato ai lavori della Commissione tecnica**

Giuliano Basso (Regione Veneto), Antonio Colombi (Regione Lazio), Marina Credali (Regione Lombardia), Eugenio Di Loreto (Regione Lazio), Antonio Gerardi (Regione Lazio), Norman Natali (Regione Umbria), Isabella Trulli (Regione Puglia), Rocco Onorati (Regione Basilicata), Giuseppe Iritano (Regione Calabria), Giorgio Pipponzi (Regione Abruzzo), Antonio Torrisi (Regione Siciliana)

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**

Gianluca Acunzo, Maria Sole Benigni, Flavio Bocchi, Monia Coltella, Chiara Conte, Noemi Fiorini, Margherita Giuffrè, Federico Mori, Roberto Razzano

Hanno contribuito con osservazioni e commenti

Maria Romani (Regione Emilia Romagna), Antonella Manicardi (Provincia di Modena), Alfio Viganò (Provincia Autonoma di Trento)

## Indice

PARTE PRIMA Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di liquefazione .....	8
1 Definizioni generali.....	8
2 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di liquefazione.....	9
2.1 Condizioni per la liquefazione	12
2.2 Carta delle MOPS – livello 1 (Z <sub>ALQ</sub> - Zone di Attenzione)	13
2.3 Carta di MS - livello 3 (Z <sub>SLQ</sub> - Zone di Suscettibilità alla liquefazione)	14
2.4 Carta di MS - livello 3 (Z <sub>RLQ</sub> - Zone di Rispetto per la liquefazione)	15
3 Modalità di rappresentazione e perimetrazione delle zone .....	17
3.1 Modalità di rappresentazione delle zone	17
3.2 Modalità di perimetrazione delle zone	17
PARTE SECONDA Disciplina d'uso del suolo in zone di liquefazione .....	22
4 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da liquefazione.....	22
5 Disciplina d'uso .....	23
5.1 Aree edificate	24
5.1.1 <i>Obbligo di approfondimento (Aree edificate)</i> .....	24
5.1.2 <i>Programma Zone Instabili</i> .....	24
5.2 Aree non edificate o non urbanizzate	26
5.2.1 <i>Obbligo di approfondimento (Aree non edificate o non urbanizzate)</i> .....	26
5.2.2 <i>Intervento limitato</i> .....	26
5.3 Programma Infrastrutture	26
6 Disciplina d'uso per le zone di ricostruzione post-terremoto .....	27
6.1 Aree edificate	27
6.1.1 <i>Obbligo di approfondimento (Aree edificate)</i> .....	27
6.1.2 <i>Programma Zone Instabili</i> .....	27
7 Bibliografia .....	30
APPENDICE A1 – Metodologie impiegate per il calcolo della M <sub>w</sub> per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione	32
APPENDICE A2 – Metodi di mitigazione del rischio dovuto alla liquefazione	40
APPENDICE A3 – Modalità di intervento in fase di prima emergenza	43
APPENDICE B1 – Schema di Programma Zone Instabili	47
APPENDICE B2 – Schemi sintetici di classificazione	49
APPENDICE B3 – Schema riassuntivo della disciplina d'uso	54

## Premessa

Il presente documento è stato predisposto con la finalità di modificare e integrare quanto indicato in “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (ICMS, 2008) nella parte riguardante i fenomeni di liquefazione, anche alla luce dell’esperienza del terremoto padano-emiliano del maggio 2012 e degli studi ad esso 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 liquefazione;
- mitigare il rischio nelle aree con previsioni di trasformazione;
- mitigare il rischio nelle aree edificate.

Per ciò che concerne i dati utilizzabili, secondo gli ICMS (2008), la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS; livello1) può essere redatta con l’utilizzo di dati pregressi, se sufficienti. Nella maggior parte dei casi i dati pregressi, cosiddetti “poveri” (in questo testo definiti “elementi informativi minimi”), consistono in informazioni di base quali la descrizione delle unità litologiche da ispezioni visive, i livelli di falda rilevati durante le perforazioni, ecc. Pertanto, per la identificazione e definizione della suscettibilità di liquefazione negli studi per la Carta delle MOPS (livello 1), si propongono metodologie che utilizzano dati immediatamente disponibili, perché raccolti *in situ*, presenti in letteratura o in database pubblici.

Di contro, la mancanza di dati pregressi quantitativamente e qualitativamente insufficienti potrebbe portare a un eccessivo proliferare di aree da investigare, quindi, se le informazioni sono eccessivamente scarse si sottolinea l’opportunità di raccogliere dati originali già nella prima fase degli studi.

Per la realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS, livello 3) si rende necessaria, invece, l’esecuzione di indagini specifiche e approfondimenti per la caratterizzazione dei terreni.

Per quanto riguarda le metodologie di elaborazione, queste Linee Guida, che a seguito della condivisione con le Regioni sono parte integrante degli ICMS (2008), devono necessariamente basarsi sulla documentazione tecnico-normativa (NTC, 2008 e AGI, 2005) e scientifica disponibile, rimandando ad altri contesti la verifica di metodologie innovative.

In figura 1 è rappresentato uno schema, applicabile a tutte le possibili instabilità sismiche (frane, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali), che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona suscettibile di instabilità nell’ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi per la microzonazione sismica.

E’ da sottolineare l’opportunità di rendere totalmente omogenea, per le diverse instabilità, l’identificazione, il significato e la denominazione delle zone suscettibili di instabilità che, come si evince dallo schema, sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA) negli studi per la Carta delle MOPS
- Zone di Suscettibilità (ZS) negli studi per la Carta di MS
- Zone di Rispetto (ZR) negli studi di per la Carta di MS.

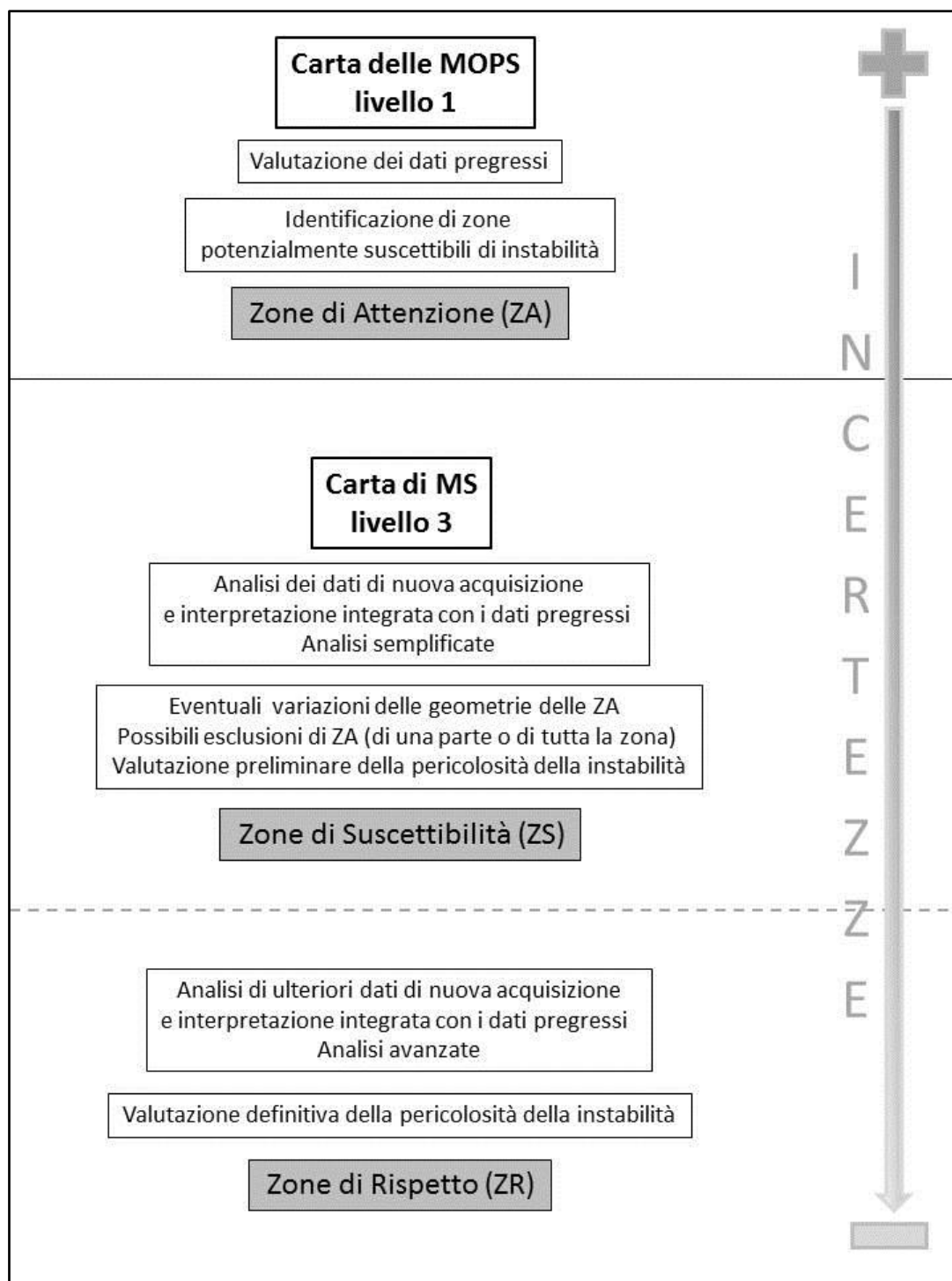


Figura 1 – Schema illustrativo del tipo di zona di instabilità nelle carte MOPS e MS. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal livello 1 al livello 3.

Concettualmente, il significato dei tre tipi di zone è il seguente:

- **Zone di Attenzione (ZA):** sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati. Resta comunque

L'opportunità di produrre, anche in questa fase, dati originali in situ e in laboratorio, se le informazioni disponibili non sono sufficienti.

- **Zone di Suscettibilità (ZS):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- **Zone di Rispetto (ZR):** sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, liquefazione, fenomeno franoso).

Il presente documento è costituito da due parti:

- **PARTE PRIMA**, nella quale si definisce il fenomeno fisico della liquefazione e si descrive una procedura tecnico operativa per stabilire forma e dimensioni delle zone investite dal fenomeno.
- **PARTE SECONDA**, nella quale si forniscono indicazioni per la disciplina degli usi del suolo nelle zone investite dal fenomeno, sia dal punto di vista urbanistico che dal punto di vista edilizio.

Nelle APPENDICI vengono riportate alcune elaborazioni a complemento del testo.

Le presenti linee guida, sono state approvate dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), nella seduta del 2 marzo 2017 e costituiscono un'integrazione e un approfondimento degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Vengono messe a disposizione delle Regioni e delle Province Autonome affinché ne favoriscano l'uso come strumento operativo e ne definiscano il livello prescrittivo.

**La struttura del presente documento è analoga a quella delle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome nella seduta del 7 maggio 2015. In particolare la seconda parte, riguardante la disciplina d'uso del suolo, riporta lo stesso schema di indicazioni urbanistiche e edilizie.**

## PARTE PRIMA

### Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di liquefazione

#### 1 Definizioni generali

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ( $M_w \geq 5$ ), che hanno come elemento comune, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

In particolare, in relazione alla geometria del problema, si definisce:

- **Liquefazione in campo libero** (*free field liquefaction*) il fenomeno di instabilità in assenza di sforzi di taglio statici.

In relazione alla severità dell’evento e nel caso in cui siano presenti sforzi di taglio statici, si definiscono:

- **Mobilità ciclica** (*cyclic mobility*) il fenomeno di instabilità in presenza di sforzi di taglio statici di entità inferiore alla resistenza al taglio post-sisma;
- **Fluidificazione** (*flow liquefaction*) il fenomeno di instabilità in presenza di sforzi di taglio statici di entità superiore alla resistenza al taglio post-sisma.

In relazione alla severità dell’evento ed alle condizioni geometriche e di stato tensionale iniziale, gli effetti della liquefazione possono essere molto diversi.

In condizioni *free field* in genere prevalgono i fenomeni del tipo indicato di seguito:

- crateri, vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia;
- grandi oscillazioni e rotture del terreno;
- abbassamenti e sollevamenti del terreno.

La severità di questi fenomeni cresce al crescere dell’intensità sismica, dell’estensione della zona soggetta a liquefazione e al ridursi della soggiacenza della falda.

In presenza di sforzi di taglio statici prevalgono invece fenomeni del tipo indicato di seguito:

- movimenti orizzontali del terreno (*lateral spreading*);
- movimento di masse fluide/collasso di pendii naturali e artificiali;
- perdita di capacità portante delle fondazioni;
- galleggiamento di opere sotterranee;
- collasso di opere di sostegno e banchine portuali.

La liquefazione intesa in senso stretto (fluidificazione o solifluzione) causa effetti significativamente più severi di quelli osservabili nel caso di mobilità ciclica.



## 2 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di liquefazione

Le finalità di questa prima parte del documento sono:

- evitare che negli studi di MS si individuino zone suscettibili di liquefazione quando non siano stati raccolti dati sufficientemente affidabili;
- definire procedure standard per l'individuazione delle zone di liquefazione in funzione della tipologia, della qualità delle indagini svolte e dei metodi di analisi;
- specificare il grado di incertezza dei risultati;
- definire il sistema di rappresentazione delle zone di liquefazione.

La suscettibilità alla liquefazione viene definita con riferimento alle condizioni di campo libero.

Dalla letteratura tecnico-scientifica (ad es. JGS, 1998; Youd e Perkins, 1978; Kramer, 1996), cui si riferisce anche la vigente normativa tecnica italiana (NTC, 2008), si evince che il fenomeno della liquefazione può avvenire se si verificano le seguenti condizioni:

- terremoti di magnitudo momento  $M_w \geq 5$ . Alla magnitudo momento sono legati la durata dell'evento e il numero di cicli di carico e scarico sismico cui è sottoposto il terreno durante lo scuotimento. Tali fattori sono determinanti per il verificarsi del fenomeno;
- accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero ( $a_{max}$ ) di almeno 0.10g (da non confondere con l'accelerazione su suolo rigido e morfologicamente piatto di NTC08, denominata  $a_g$ );
- presenza di caratteri geologici e geotecnici predisponenti (tra i quali il più importante è la presenza di terreni costituiti prevalentemente da sabbie e limi saturi, in falda, poco addensati nei primi 20 m di profondità).

La Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT\_MS), descrivendo i litotipi che costituiscono il sottosuolo dell'area d'interesse, ha un ruolo fondamentale per l'individuazione della presenza, o meno, delle condizioni locali predisponenti la liquefazione (terzo punto del precedente elenco). Pertanto, è necessario che nella carta vengano anche rappresentati elementi di paleogeografia (es. paleo alvei, anche sepolti) ed eventuali elementi antropici di interesse (es. argini fluviali).

La CGT\_MS rappresenta un vero e proprio studio propedeutico per l'individuazione delle zone di liquefazione. In particolare, un'area nella quale si ipotizza la presenza di terreni non coesivi, saturi, nei primi 20 m di sottosuolo, sarà segnalata nella CGT\_MS e accompagnata da una descrizione specifica nelle note illustrative, come un'area sulla quale sono necessari approfondimenti per verificare l'effettiva presenza di condizioni predisponenti il fenomeno della liquefazione.

I livelli di approfondimento (Tabella 1) per l'individuazione delle zone potenzialmente interessate da liquefazione, descritti nel presente documento, sono:

- livello 1 (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per la liquefazione ( $Z_{ALQ}$ ), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi<sup>1</sup> (litostratigrafia, profondità della falda, elementi paleogeografici, ecc.);

---

<sup>1</sup> Tra gli elementi informativi minimi si intendono anche i dati pregressi.

- livello 3 (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
  - Zone Suscettibili di liquefazione ( $Z_{S_{LQ}}$ ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo semplificati;
  - Zone di Rispetto per la liquefazione ( $Z_{R_{LQ}}$ ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo avanzati.

Le stime dell'Indice del potenziale di Liquefazione medio della zona (IL, definito nel capitolo 2.3) si svilupperanno nel livello 3. Questo parametro richiede, infatti, specifiche analisi e indagini più approfondite. I risultati degli studi con approfondimenti di livello 2 (abachi), in particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo, possono invece essere utilizzati limitatamente al calcolo dell'accelerazione massima in superficie ( $a_{max}$ ) e saranno utilizzati nelle Carte di MS per la caratterizzazione delle  $Z_{S_{LQ}}$  e delle  $Z_{R_{LQ}}$ .

Come si può notare, i diversi tipi di zona di liquefazione sono propri di diversi livelli di approfondimento. A ciascun tipo di zona corrispondono indicazioni per la pianificazione urbanistica e per gli interventi di trasformazione (che saranno trattate nella PARTE SECONDA).

Livello di MS	Carta	Zone di liquefazione	Elementi informativi	Metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione ( $Z_{A_{LQ}}$ )	Minimi	-
3	MS	Zone di Suscettibilità ( $Z_{S_{LQ}}$ )	Specifici	Semplificati ( <i>sensu</i> AGI, 2005)
3	MS	Zone di Rispetto ( $Z_{R_{LQ}}$ )	Specifici	Avanzati ( <i>sensu</i> AGI, 2005)

**Tabella 1 – Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di liquefazione.**

In figura 2 è rappresentato un diagramma di flusso che illustra il percorso metodologico, descritto nei paragrafi che seguono, per l'identificazione dei tre tipi di zone di liquefazione.

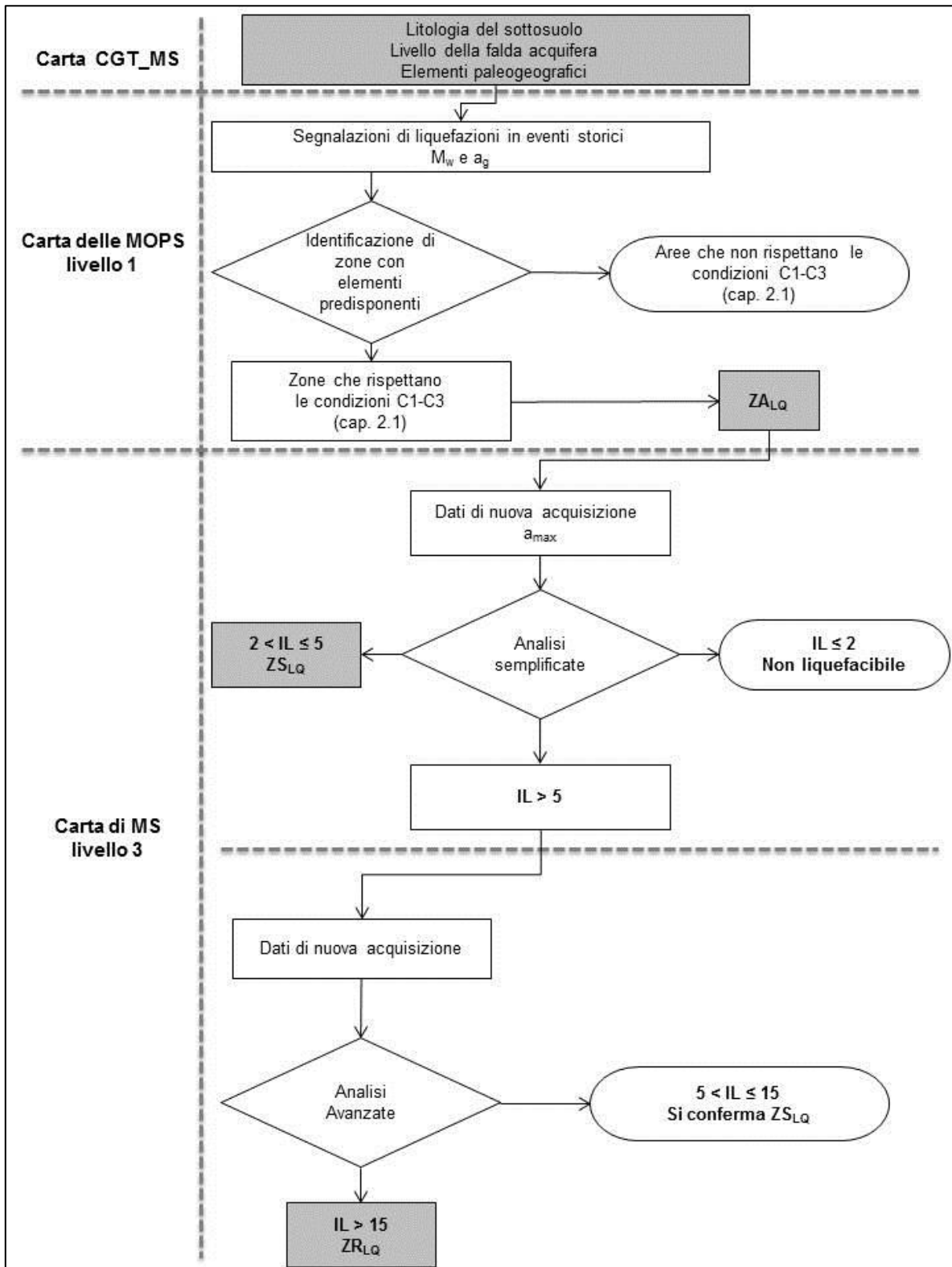


Figura 2 – Diagramma di flusso che illustra il percorso metodologico (attraverso i livelli di MS) per la definizione delle zone di liquefazione. CGT\_MS: Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica;  $a_g$ : accelerazione su roccia rigida e pianeggiante in *free field*; Condizioni C1-C3: vedi capitolo 2.1;  $a_{max}$ : accelerazione massima in superficie, calcolata con un'analisi numerica; IL: Indice del potenziale di Liquefazione medio (per la definizione vedi capitolo 2.3); ZALQ: Zona di Attenzione per la liquefazione; ZSLQ: Zona di Suscettibilità alla liquefazione; ZRLQ: Zona di Rispetto per la liquefazione.

## 2.1 Condizioni per la liquefazione

Nel sottosuolo si sviluppano fenomeni di liquefazione in presenza delle seguenti 3 condizioni (si riprendono, modificandole in parte, le indicazioni di AGI, 2005 e NTC, 2008):

- C1. nella successione litologica sono presenti** orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c. Se si hanno dati disponibili è possibile rilevare più analiticamente **la presenza nella successione litologica** di orizzonti di terreni non coesivi con particelle di diametro compreso nei fusi granulometrici di figura 3;
- C2. la falda acquifera** deve essere ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;
- C3. gli eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo  $M_w \geq 5$  ( $I_{rif} \geq VII$ ) e da un'accelerazione in superficie di riferimento  $a_{max} \geq 0,1$  g ( $I_{MCS} \geq VII$ ).**

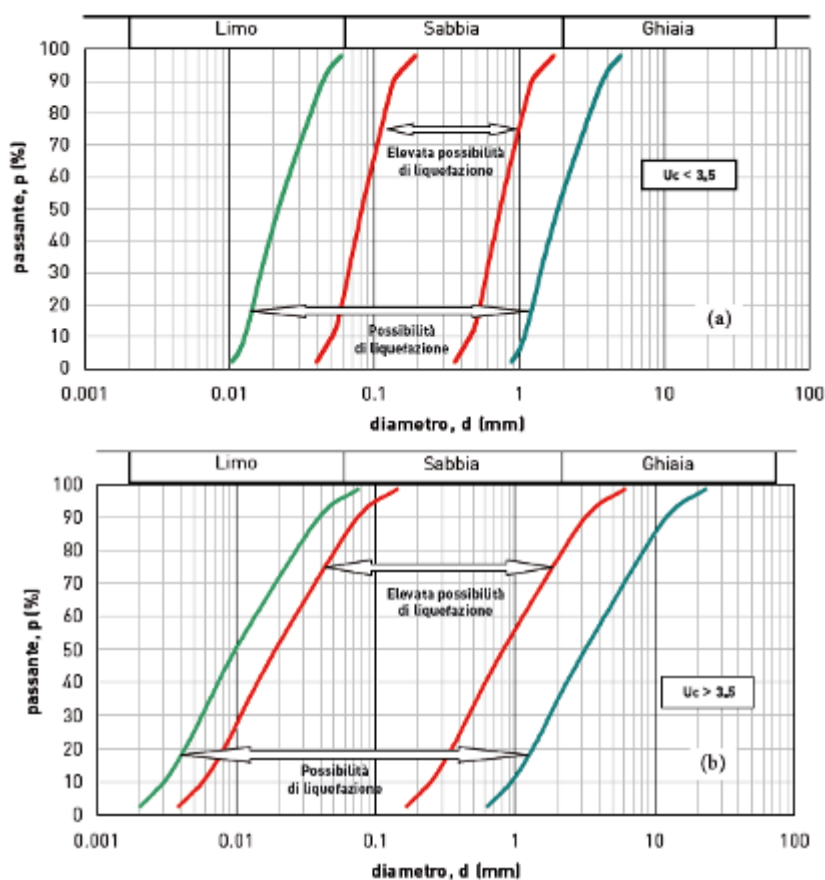


Figura 3 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da Sherif e Ishibashi, 1977, riportato in AGI, 2005).

Le possibilità che un dato evento sismico sia in grado di dare origine a fenomeni di liquefazione dipende dalla intensità e dalla durata dello scuotimento attesi. La determinazione di questi elementi viene effettuata a partire da analisi di pericolosità sismica condotte utilizzando modelli di tipo probabilistico, finalizzate a determinare il livello di verosimiglianza associato ai diversi possibili scuotimenti attesi a partire da dati relativi alla sismicità passata e dati di altra natura (zone sismogenetiche, relazioni di attenuazione, ecc.).

In Appendice A1 vengono richiamate alcune metodologie per il calcolo della magnitudo da utilizzare per la verifica delle condizioni per la liquefazione.

## 2.2 Carta delle MOPS – livello 1 ( $ZA_{LQ}$ - Zone di Attenzione)

Nel livello 1, la verifica delle 3 condizioni per la liquefazione precedentemente descritte viene condotta utilizzando **elementi informativi minimi**. Alcuni di questi elementi, che attengono alle caratteristiche del sottosuolo, devono essere raccolti dando priorità alle aree già preventivamente segnalate nella CGT\_MS.

Se si verificano le 3 condizioni, viene individuata una zona potenzialmente suscettibile di liquefazione e viene qualificata come  $ZA_{LQ}$  (Zona di Attenzione).

Per quanto riguarda la valutazione della condizione C1, poiché questa sarà fatta su dati pregressi, tra i quali non sempre sono presenti le indicazioni granulometriche, si può far riferimento anche alla sola descrizione strettamente litologica riportata in relazioni tecniche pregresse di sondaggi a carotaggio continuo o analizzando direttamente le carote del sondaggio.

Anche per la condizione C2 si può far riferimento a relazioni tecniche pregresse.

Per verificare la condizione C3, riguardo la magnitudo si può far riferimento all'Appendice A1. Per l'accelerazione massima in superficie ( $a_{max}$ ), non essendo generalmente disponibili in questo livello di approfondimento studi specifici sull'amplificazione, si potrà utilizzare quale valore di accelerazione di soglia minima della condizione C3 ( $\geq 0,1 g$ ), il valore  $a_g$  (accelerazione prevista dagli studi probabilistici su suolo rigido e piatto per un tempo di ritorno di 475 anni). In pratica, per questo livello di approfondimento, in modo estremamente cautelativo, si propone di utilizzare  $a_g$  come fosse  $a_{max}$ , considerando che il valore di  $a_g$  sarà certamente più basso di  $a_{max}$ . Ovviamente, qualora fossero già disponibili valori di  $a_{max}$  si utilizzeranno direttamente tali valori.

Nel caso non si verificasse anche solo una delle condizioni da C1 a C3 la zona è da considerare non suscettibile di liquefazione.

Le  $ZA_{LQ}$  sono rappresentate con diverse simbologie nella Carta delle MOPS.

L'individuazione di queste zone rimanderà obbligatoriamente al livello superiore di approfondimento (Carta di MS – livello 3).

Nel livello 1, oltre all'identificazione della  $ZA_{LQ}$ , nella Relazione illustrativa saranno riportate indicazioni:

- sull'assetto geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area;
- su eventuali segnalazioni di liquefazioni in occasione di eventi sismici passati;
- sulla ubicazione e sulla tipologia delle indagini da condurre nei livelli di approfondimento successivi;
- sui metodi di analisi da impiegare nei livelli di approfondimento successivi.

Nella Carta delle MOPS dovranno comunque essere segnalate le zone per le quali si hanno notizie certe di effetti di liquefazione avvenuti in seguito all'occorrenza di terremoti storici e recenti. Tali zone dovranno essere sempre caratterizzate come zone del tipo  $ZA_{LQ}$ .

Le informazioni sui fenomeni di liquefazione osservati in occasione di eventi sismici storici possono essere reperite in pubblicazioni scientifiche o nel catalogo CEDIT: *Italian Catalogue Of Seismic Ground Failures* (<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>, 2013).

Nel capitolo 3 sono illustrati i criteri per la perimetrazione della  $Z_{A_{LQ}}$ .

## 2.3 Carta di MS - livello 3 (ZSLQ - Zone di Suscettibilità alla liquefazione)

Nella Carta di MS (livello 3) è necessaria una raccolta dati specifica e possono essere applicati metodi di analisi il più delle volte semplificati, al fine di produrre stime quantitative della pericolosità. L'acquisizione dei risultati di specifiche prove geotecniche *in situ* e di laboratorio, hanno i seguenti obiettivi:

- stimare l'amplificazione litostratigrafica in superficie ( $a_{max}$  in superficie in condizioni di *free field*) attraverso modellazioni numeriche o, in particolari condizioni del sottosuolo, per mezzo di abachi di amplificazione litostratigrafica;
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della liquefazione;
- attribuire per quella zona, con analisi semplificate, un Indice di potenziale di Liquefazione medio<sup>2</sup> (IL)<sup>3</sup>, ripartito in quattro classi:

IL	Classi
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Tabella 2 – Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione

- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini *in situ* e in laboratorio e dei metodi di analisi della suscettibilità;
- definire le aree di  $Z_{S_{LQ}}$  ( $2 < IL \leq 15$ );
- definire le aree di  $Z_{R_{LQ}}$  ( $IL > 15$ ); su tali zone è opportuno condurre ulteriori indagini al fine di confermare le  $Z_{R_{LQ}}$ ;

Le zone per le quali nel livello 1 si sono verificate le 3 condizioni per la liquefazione e per le quali le verticali analizzate con analisi semplificate hanno un IL maggiore di 2 e inferiore o uguale a 15, sono Zone

<sup>2</sup> Per IL medio si intende la media degli IL calcolati in tutte le verticali ricadenti nella zona.

<sup>3</sup> Il potenziale di liquefazione,  $I_L$ , è definito dalla seguente relazione:  $I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$

in cui  $z$  è la profondità dal piano campagna in metri e  $w(z) = 10 - 0.5z$ . Ad una data quota  $z$  il fattore  $F(z)$  vale:

$F = 1 - F_L$  se  $F_L \leq 1.0$

$F = 0$  se  $F_L > 1.0$

dove  $F_L$  è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

di Suscettibilità alla liquefazione ( $Z_{SLQ}$ ), a loro volta distinte nella rappresentazione cartografica in zone a media ( $2 < IL < 5$ ) e alta pericolosità ( $5 < IL < 15$ ).

Le zone per le quali nel livello 1 si sono verificate le 3 condizioni per la liquefazione e per le quali le verticali analizzate con analisi semplificate hanno un IL maggiore di 15, sono Zone di Rispetto ( $Z_{RLQ}$ ). Effettuando ulteriori indagini sarà possibile confermare se sono  $Z_{RLQ}$ , oppure  $Z_{SLQ}$  (capitolo 2.4).

Le  $Z_{SLQ}$  sono rappresentate nella Carta di MS (livello 3).

Nel capitolo 3 sono illustrati i criteri per la perimetrazione delle zone  $Z_{SLQ}$ .

## 2.4 Carta di MS - livello 3 ( $Z_{RLQ}$ - Zone di Rispetto per la liquefazione)

Nella Carta di MS (livello 3), per quantificare in modo affidabile la pericolosità è necessaria una raccolta specifica dati e devono essere applicati metodi il più delle volte avanzati. In tal modo possono essere identificate le Zone di Rispetto per la liquefazione ( $Z_{RLQ}$ ). La raccolta dei dati *in situ*, le prove in laboratorio e le analisi dinamiche (elementi informativi specifici) per l'identificazione delle Zone di Rispetto per la liquefazione ( $Z_{RLQ}$ ) hanno i seguenti obiettivi:

- valutare, con metodi numerici di simulazione (se non lo è stato già fatto per l'identificazione delle  $Z_{SLQ}$ ), la  $a_{max}$ ;
- rivalutare IL medio per le zone con  $IL > 15$ , con ulteriori dati e/o con analisi dinamiche semplificate o avanzate ;
- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ e in laboratorio, e delle analisi;
- valutare o rivalutare i possibili effetti sulle opere antropiche di interesse e fornire indicazioni in merito ai possibili interventi per la mitigazione del rischio (vedi Appendice A2).

Le aree nelle quale le verticali analizzate con metodi dinamici hanno un IL medio maggiore di 15, sono confermate Zone di Rispetto ( $Z_{RLQ}$ ).

Le aree nelle quale le verticali analizzate con metodi dinamici hanno un IL medio minore o uguale a 15, sono denominate Zone di Suscettibilità alla liquefazione ( $Z_{SLQ}$ ).

Le  $Z_{RLQ}$  sono rappresentate nella Carta di MS (livello 3).

In Tabella 3 è riportato uno schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone.

Nel capitolo 3 sono illustrati i criteri per la perimetrazione.

C1	C2	C3	IL	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Sì	Sì	Sì	-	$Z_{ALQ}$ (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Sì	Sì	Sì	$2 < IL \leq 15$	$Z_{SLQ}$ (Zona di Suscettibilità alla liquefazione)	MS	3 (in alcune condizioni geologiche livello 2, limitatamente per $a_{max}$ )
Sì	Sì	Sì	$> 15$	$Z_{RLQ}$ (Zona di Rispetto)	MS	3

**Tabella 3 – Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone.**

A prescindere dalla scelta delle indagini *in situ*, delle prove di laboratorio e delle metodologie di analisi del potenziale di liquefazione, si raccomanda una particolare attenzione alla coerenza interna dei metodi utilizzati sia per quanto riguarda la scelta dei parametri, che per il loro utilizzo nelle analisi.

Si sottolinea l'ulteriore possibilità di utilizzare, qualora siano disponibili, metodi avanzati con valutazioni probabilistiche.



### 3 Modalità di rappresentazione e perimetrazione delle zone

#### 3.1 Modalità di rappresentazione delle zone

Le zone instabili per la liquefazione devono essere cartografate a una scala adeguatamente dettagliata, preferibilmente non inferiore a 1:5.000.

Le  $Z_{ALQ}$  sono zone rappresentate nella Carta delle MOPS e, nel caso si eseguano studi di livello 2 per le amplificazioni litostratigrafiche, anche nelle Carte di MS. Le Carte di MS con zone di approfondimento di livello 2, infatti, nel caso non si proceda oltre questo livello di approfondimento, vengono spesso assunte come cartografia di riferimento per la pianificazione urbanistica ed è quindi importante conservare l'informazione sulle  $Z_{ALQ}$  individuate.

Le  $Z_{SLQ}$  e le  $Z_{RLQ}$  sono zone rappresentate nelle Carte di MS (livello 3).

La  $Z_{RLQ}$  può essere interna ad una  $Z_{SLQ}$ , ma non si sovrappone mai.

#### 3.2 Modalità di perimetrazione delle zone

In termini generali, le informazioni che guidano la perimetrazione delle zone, in ordine decrescente di significatività (affidabilità), sono ricavate da:

- a) descrizioni del fenomeno fisico rilevato sul campo, se si è in fase di immediato post evento;
- b) segnalazioni di fenomeni di liquefazione in eventi storici (fonti storiche);
- c) valutazioni effettuate con metodi dinamici (avanzati e semplificati);
- d) valutazioni effettuate con metodi semplificati.

Sulla base di tali informazioni, vengono definite le seguenti procedure di perimetrazione delle zone.

##### 1) $Z_{ALQ}$ (Carta delle MOPS)

La Zona di Attenzione ( $Z_{ALQ}$ ) si identifica sulla base di **elementi informativi minimi** e pertanto la perimetrazione dovrà tener conto di tale grado di incertezza.

I limiti della  $Z_{ALQ}$  coincideranno con i limiti delle zone (Figura 4) nelle quali si verificano le condizioni da C1 a C3.

La perimetrazione della zona si realizzerà sulla base di:

- segnalazioni di fenomeni di liquefazione in eventi storici e preistorici (fonti storiche ed evidenze in scavi, trincee e studi paleosismologici);
- CGT\_MS (scala 1:5.000-1:10.000);
- indagini *in situ* e analisi di laboratorio.

La procedura di perimetrazione prevede che:

- nell'ambito della elaborazione della Carta delle MOPS, le  $Z_{ALQ}$  siano individuate tra quelle suscettibili di amplificazione (ovvero le zone nelle quali sono verificate le condizioni da C1 a C3, in particolare la presenza, nella successione litostratigrafica dei primi 20 m, di sedimenti sciolti e granulari e una falda superficiale);

- una  $Z_{A_{LQ}}$  possa essere costituita da una o da più zone suscettibili di amplificazione anche confinanti (Figura 5);
- la  $Z_{A_{LQ}}$  dovrà essere caratterizzata dalla successione litostratigrafica del sottosuolo.

Per le modalità di rappresentazione delle  $Z_{A_{LQ}}$  si vedano gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0.

Le  $Z_{A_{LQ}}$ , riportate nelle Carte di MS nelle quali gli studi di approfondimento non superano il livello 2, saranno sempre caratterizzate dalla successione litostratigrafica.

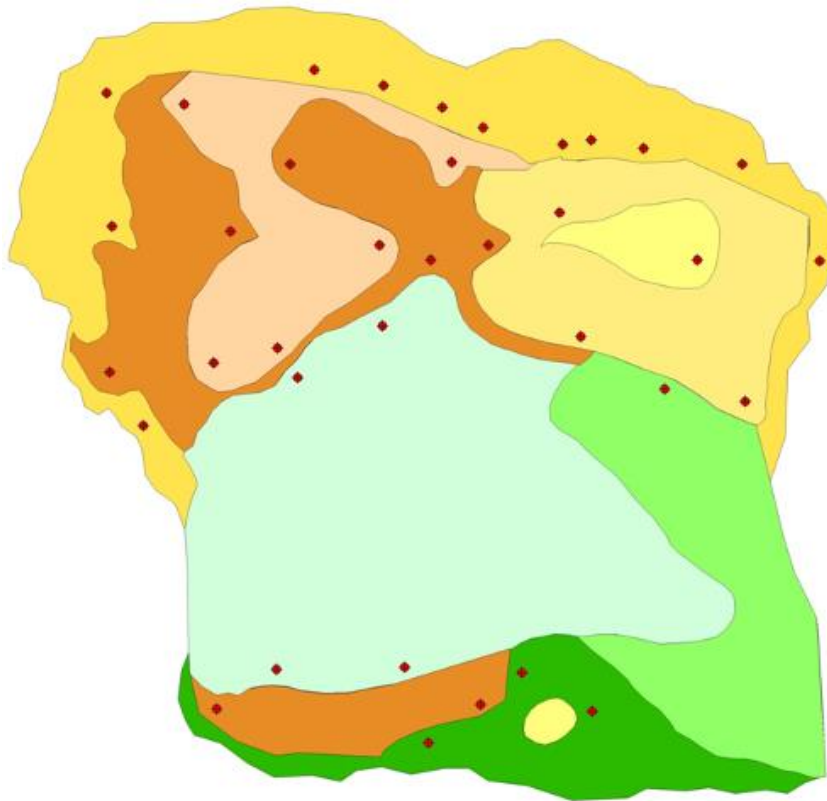


Figura 4 – Schema esemplificativo di una Carta delle MOPS. Tutte le zone sono “suscettibili di amplificazione” (terreni soffici su un substrato geologico). I punti rossi rappresentano la localizzazione delle indagini che hanno permesso l’identificazione delle zone (il simbolo utilizzato indica un’indagine generica e non ha nessun riferimento con la simbologia degli Standard di archiviazione e di rappresentazione informatica). In questa fase non sono ancora state analizzate le 3 condizioni del capitolo 2.1.

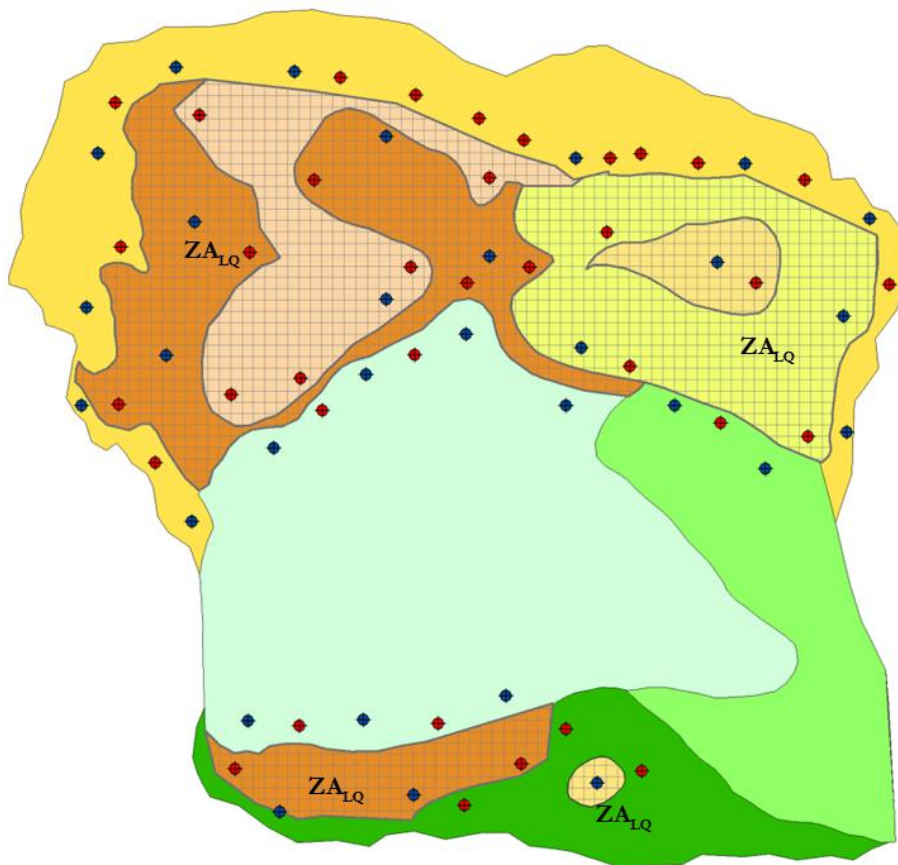


Figura 5 – Schema esemplificativo di una Carta delle MOPS sulla quale sono state identificate le  $Z_{A_{LQ}}$  (retinato grigio) che rispettano le 3 condizioni del capitolo 2.1. I punti in blu rappresentano la localizzazione delle indagini da eseguire nel livello3 (il simbolo utilizzato indica un'indagine generica e non ha nessun riferimento con la simbologia degli Standard di archiviazione e di rappresentazione MS).

## 2) $Z_{S_{LQ}}$ (Carta di MS)

La Zona di Suscettibilità ( $Z_{S_{LQ}}$ ) non necessariamente coincide con la Zona di Attenzione ( $Z_{A_{LQ}}$ ; figura 6). La perimetrazione della  $Z_{S_{LQ}}$  si realizzerà sulla base di:

- CGT\_MS rielaborata sulla base delle nuove indagini ad una scala di grande dettaglio (1:5000-1:1000);
- risultati di analisi semplificate per il calcolo di CRR e CSR, attraverso prove e indagini differenti, con vari livelli di incertezza;

La procedura di perimetrazione delle  $Z_{S_{LQ}}$  (Figura 6), partendo dalla  $Z_{A_{LQ}}$  definita nel livello 1, prevede:

- rivalutazione delle informazioni contenute nella CGT\_MS;
- calcolo della  $a_{max}$  in superficie con metodi numerici
- valutazione degli IL sulla base dei risultati delle verticali studiate e verifica che sia  $IL > 2$
- geometria delle  $Z_{S_{LQ}}$ ;
- calcolo di IL medio della zona  $Z_{S_{LQ}}$

Le  $Z_{S_{LQ}}$  saranno caratterizzate oltre che dagli IL medi, da un fattore di amplificazione.

Nel caso in cui  $IL > 15$ , la zona è classificata come  $ZR_{LQ}$ .

Per le modalità di rappresentazione delle  $ZS_{LQ}$  si vedano gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0

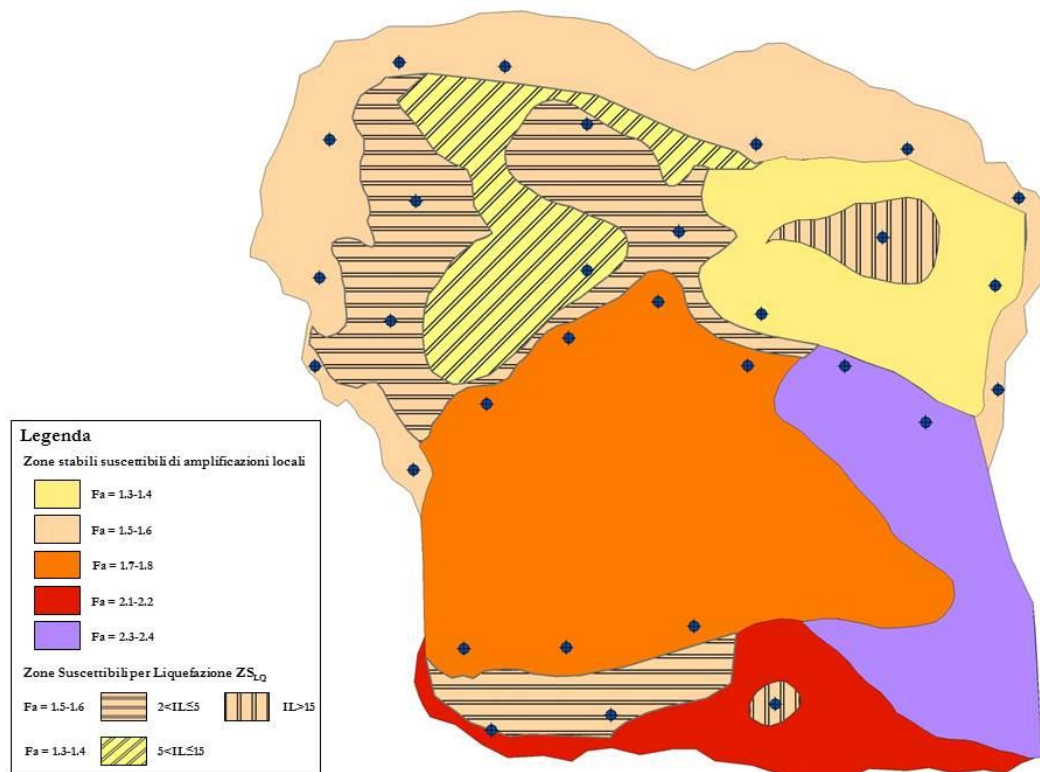


Figura 6 - Schema esemplificativo di una Carta di MS con alcune  $ZS_{LQ}$  ( $IL > 2$ ). I punti in blu rappresentano la localizzazione delle indagini i cui risultati hanno permesso la perimetrazione delle  $ZS_{LQ}$  (il simbolo utilizzato indica un'indagine generica e non ha nessun riferimento con la simbologia degli Standard di archiviazione e di rappresentazione MS). Il retino delle  $ZS_{LQ}$  indica la classe di IL medio, il colore dello sfondo indica la classe del parametro di amplificazione.

### 3) $ZR_{LQ}$ (Carta di MS)

La perimetrazione della  $ZR_{LQ}$  (Figura 7) si realizzerà sulla base delle posizioni delle verticali di indagini e di analisi per le quali il valore di IL è risultato  $> 15$ .

La procedura di perimetrazione delle  $ZR_{LQ}$  avviene contemporaneamente alla individuazione delle  $ZS_{LQ}$ .

Sulle verticali delle indagini e analisi presenti all'interno della  $ZR_{LQ}$  sarà necessario applicare una delle metodologie di analisi dinamica di suscettibilità alla liquefazione:

- analisi dinamica semplificata in termini di tensioni totali o efficaci;
- analisi dinamica avanzata.

Si determineranno:

- calcolo del moto sismico del sito (compresi i fattori di amplificazione)

- valutazione degli IL sulla base dei risultati delle verticali studiate e verifica che sia  $> 15$
- geometria delle  $ZR_{LQ}$
- calcolo dell'IL medio della zona  $ZR_{LQ}$

Le  $ZR_{LQ}$  saranno caratterizzate oltre che dagli IL medi, anche da un fattore di amplificazione. Nel caso in cui si verificasse che IL è minore o uguale a 15, la zona viene riportata a  $ZS_{LQ}$ .

Per le modalità di rappresentazione delle  $ZR_{LQ}$  si vedano gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0

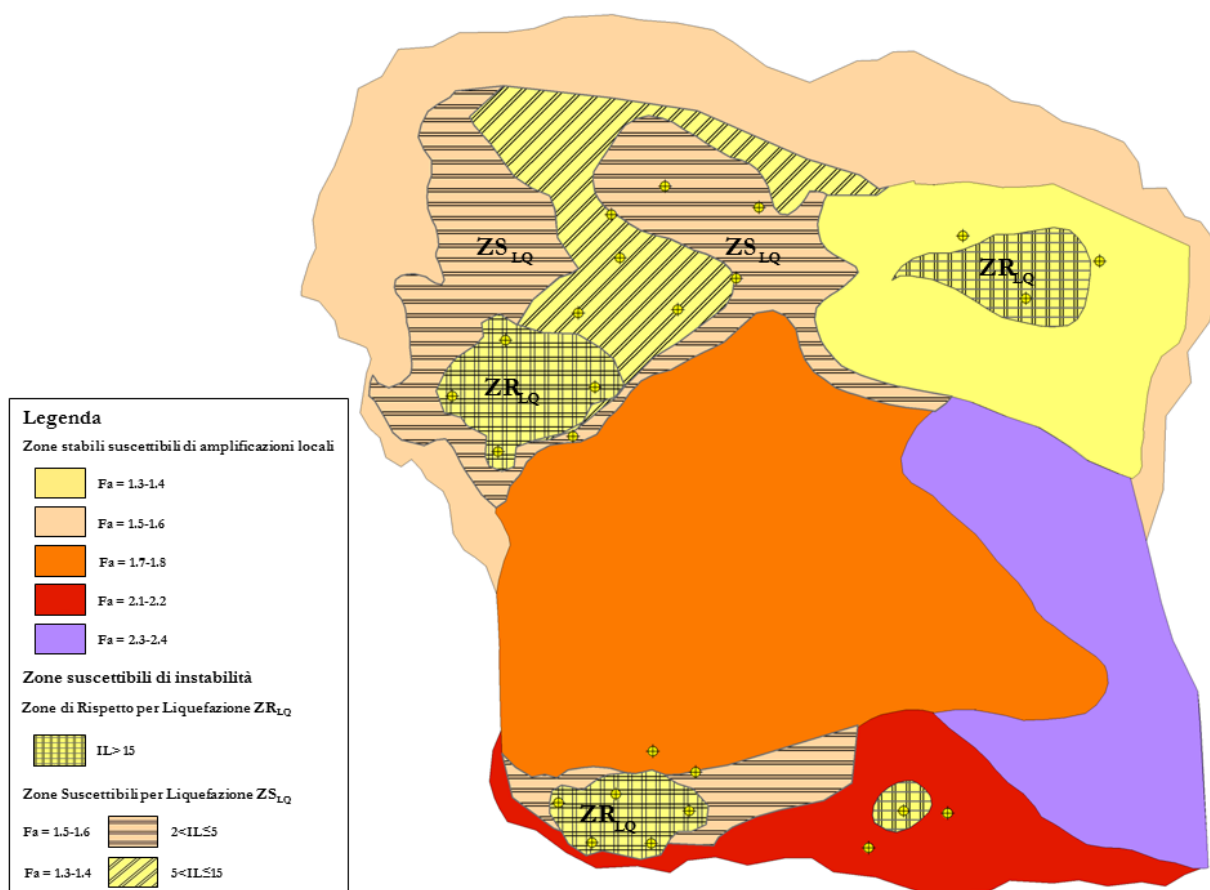


Figura 7 – Schema esemplificativo di Carta di MS con alcune  $ZS_{LQ}$  ( $2 < IL \leq 15$ ) e  $ZR_{LQ}$  ( $IL > 15$ ) I punti gialli indicano la localizzazione delle indagini eseguite i cui risultati sono stati utilizzati per la perimetrazione delle  $ZR_{LQ}$  (il simbolo utilizzato indica un'indagine generica e non ha nessun riferimento con la simbologia degli Standard di archiviazione e di rappresentazione MS). Il colore dello sfondo delle zone indica la classe del parametro di amplificazione.

In Appendice A2 sono illustrati, a solo scopo conoscitivo, alcuni metodi di mitigazione della pericolosità per liquefazione.

In Appendice A3 è illustrata la modalità di intervento in emergenza adottata dal DPC e dalla Regione Emilia Romagna dopo il terremoto del maggio 2012.

## PARTE SECONDA

### Disciplina d'uso del suolo in zone di liquefazione

#### 4 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da liquefazione

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di liquefazione 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.

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  $Z_{ALQ}$ ,  $Z_{SLQ}$  e  $Z_{RLQ}$  va sottoposta a specifiche normative.

In particolare le tre categorie di aree 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.

## 5 Disciplina d'uso

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone suscettibili alla liquefazione devono tener conto di due fattori:

- l'instabilità da liquefazione può interessare aree relativamente vaste del territorio (interessando talvolta anche il territorio di un intero comune);
- a differenza di altre forme di instabilità è possibile mettere in atto interventi puntuali di riduzione della pericolosità, attraverso interventi diretti sul suolo, e della vulnerabilità, attraverso interventi sull'edificio (come illustrato nell'Appendice A3).

Tenuto conto di questo, la disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di liquefazione viene articolata in **due tipi di indicazioni**:

- **indicazioni urbanistiche**, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso<sup>4</sup> e modalità attuative;
- **indicazioni edilizie**, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica<sup>5</sup>, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso.

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite e alle zone di liquefazione in cui esse ricadono, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi (Tabella B1). Nella tabella viene riportata anche una colonna relativa alle infrastrutture, come ambito distinto e in questa sede non approfondito.

Nell'Appendice B2 vengono riportati gli schemi sintetici di classificazione.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZSLQ	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZRLQ				

Tabella B1 - Indicazioni urbanistiche (fra parentesi i riferimenti ai paragrafi)

<sup>4</sup> L'art. 10, comma 2, del T.U. edilizia (D.P.R. 380/2001) attribuisce alle Regioni la competenza a disciplinare, con legge regionale, la materia della destinazione d'uso e del mutamento della stessa. Le destinazioni d'uso generalmente fanno riferimento alle seguenti categorie: residenziale, turistico-ricettiva, produttiva e direzionale, commerciale, rurale ( art. 23-ter del D.P.R. 380/2001).

<sup>5</sup> Le Classi d'uso individuate dalle NTC (2008), cap. 2, par. 2.4.2 sono le seguenti:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

## 5.1 Aree edificate

### 5.1.1 Obbligo di approfondimento (Aree edificate)

Nel caso di  $Z_{A_{LQ}}$ , nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS (paragrafi 2.2 e 2.3 della PARTE PRIMA), al fine di individuare le  $Z_{S_{LQ}}$  e le  $Z_{R_{LQ}}$ , oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente. E' prerogativa delle Regioni definire eventuali limiti temporali, in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento dei suddetti approfondimenti. L'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

### 5.1.2 Programma Zone Instabili

Per le  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$ , nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, le amministrazioni locali nell'ambito dei propri strumenti di pianificazione urbanistica e secondo le prescrizioni e gli indirizzi dei soggetti sovraordinati, individuano e perseguono uno o più obiettivi per il *Programma Zone Instabili (PZI)*, assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Il PZI rappresenta un programma d'intervento complesso in cui vengono definiti obiettivi e ambiti di intervento, fattibilità e modalità attuative. Il PZI riguarda più in generale tutte le aree suscettibili di instabilità, fra cui anche quelle interessate da faglie attive e capaci (FAC).<sup>6</sup> Nell'Appendice B1 viene riportato uno schema di Programma utilizzabile anche come lista di verifica dei temi trattati.

L'assenza di un PZI determina la stessa disciplina d'uso prevista per le  $Z_{A_{LQ}}$  (paragrafo 5.1.1).

#### 5.1.2.1 Scelta obiettivo del PZI

La definizione di uno specifico PZI implica la scelta di uno dei seguenti obiettivi, eventualmente differenziati in funzione di  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$ :

- Intervento limitato (Obiettivo 1)
- Intervento obbligatorio o limitato (Obiettivo 2)
- Intervento obbligatorio o inibito (Obiettivo 3)
- Intervento inibito (Obiettivo 4)

---

<sup>6</sup> Commissione tecnica per la microzonazione sismica. *Linee guida per al gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci*. Versione 1.0. Dipartimento della protezione civile e Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Roma, maggio 2015.



Per ciascuno di questi obiettivi di seguito vengono elencate le rispettive discipline d'uso.

#### 5.1.2.1.1 1a ipotesi: Intervento limitato (Obiettivo 1).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

#### 5.1.2.1.2 2a ipotesi: Intervento obbligatorio o limitato (Obiettivo 2)

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

#### 5.1.2.1.3 3a ipotesi: Intervento obbligatorio o inibito (Obiettivo 3)

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

#### 5.1.2.1.4 4a ipotesi: Intervento inibito (Obiettivo 4).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Delocalizzazione	Non è consentito alcun intervento sull'edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

Per i centri storici, oltre alle indicazioni sopra riportate riguardanti la categoria delle Aree edificate (recenti o consolidate), dovrà essere valutata l'opportunità, in sede di predisposizione del PZI, di introdurre un piano attuativo che contempli interventi finalizzati alla conservazione e al riuso, compatibili con le nuove condizioni di rischio intervenute.

## 5.2 Aree non edificate o non urbanizzate

### 5.2.1 Obbligo di approfondimento (Aree non edificate o non urbanizzate)

Le **Aree non edificate (con previsione di trasformazione)** e le **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata**, ricadenti in  $Z_{A_{LQ}}$ , sono soggette ad un regime di limitazione di edificabilità che non autorizza alcun intervento di trasformazione, fintantoché non vengano effettuati i necessari approfondimenti al fine di individuare le  $Z_{S_{LQ}}$  e le  $Z_{R_{LQ}}$ .

E' ammessa in tali aree la sistemazione di spazi aperti, senza realizzazione di volumetrie, a servizio delle funzioni e delle attività presenti nelle aree limitrofe, insediate e urbanizzate, o per incrementare la dotazione urbana di aree verdi, spazi pubblici e verde privato attrezzato.

Pertanto, l'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

### 5.2.2 Intervento limitato

Nelle **Aree non edificate (con previsione di trasformazione)** e nelle **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata**, ricadenti in  $Z_{S_{LQ}}$  e in  $Z_{R_{LQ}}$ , è prevista la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con interventi obbligatori di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

## 5.3 Programma Infrastrutture

Per le infrastrutture, le opere connesse a sistemi infrastrutturali e, più in generale le *lifelines* in programma di realizzazione, deve essere favorita la delocalizzazione. Se preesistenti, o non delocalizzabili, deve essere predisposto uno specifico programma, eventualmente nell'ambito del *Programma Zone Instabili*, per essere sottoposte a verifica, prevedendo specifici approfondimenti conoscitivi e interventi finalizzati alla minimizzazione dei rischi.

## 6 Disciplina d'uso per le zone di ricostruzione post-terremoto

Nel caso di zona di ricostruzione post-terremoto allo schema di disciplina d'uso precedentemente descritto, si andrà ad aggiungere la condizione, ben più gravosa, di manufatti danneggiati e la necessità di predisporre piani e norme specifici per l'intera area oggetto dell'evento sismico.

Pertanto, la prima delle precedenti categorie di aree urbanistiche (Aree edificate - recenti o consolidate), così come definita, deve essere integrata con i manufatti (Unità minime di intervento) classificati in funzione del danno e della vulnerabilità. Nell'Appendice B1 vengono riportati gli schemi sintetici di classificazione.

### 6.1 Aree edificate

#### 6.1.1 *Obbligo di approfondimento (Aree edificate)*

Nel caso di ZALQ, nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, per interventi di ricostruzione o riparazione l'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

#### 6.1.2 *Programma Zone Instabili*

A quanto già previsto per le ZSLQ e ZRLQ, nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, dovranno essere aggiunte le seguenti indicazioni.

L'assenza di un PZI determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

##### 6.1.2.1 *Scelta obiettivo del PZI*

Nel PZI dovrà essere valutata progressivamente la possibilità di adozione di uno dei seguenti obiettivi riferibili all'edilizia danneggiata:

- Intervento limitato (Obiettivo 1)
- Intervento obbligatorio o limitato (Obiettivo 2)
- Intervento obbligatorio (Obiettivo 3)

Per ciascuno di questi obiettivi di seguito vengono elencate le rispettive discipline d'uso.

### 6.1.2.1.1 1a ipotesi: Intervento limitato (Obiettivo 1).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

In ZR<sub>LQ</sub> e ZS<sub>LQ</sub>

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Limitato	Qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/ rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

### 6.1.2.1.2 2a ipotesi: Intervento obbligatorio o limitato (Obiettivo 2).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

In ZR<sub>LQ</sub>

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.

In ZS<sub>LQ</sub>

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave)	Limitato	Qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
Danneggiata (danno gravissimo)	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.

### 6.1.2.1.3 3a ipotesi: Intervento obbligatorio (Obiettivo 3).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

In ZS<sub>LQ</sub> e ZR<sub>LQ</sub>

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.

Nell'Appendice B3 vengono riportate alcune slide che sintetizzano la disciplina d'uso del suolo.

## 7 Ruoli delle Istituzioni pubbliche

I ruoli delle Istituzioni pubbliche sono sintetizzate di seguito:

- Stato:
  - formula definizioni, indirizzi, criteri generali per le Regioni ed Enti Locali;
  - definisce programmi di risorse finanziarie;
  - stabilisce i criteri tecnici generali per definire le  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$ ;
  - definisce i criteri generali di utilizzo del suolo nelle  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$ ;
  - propone e attua l'aggiornamento degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008);
  - definisce modalità e strumenti operativi per la valutazione delle aree in liquefazione individuate negli studi di MS1.
- Regioni e Province autonome:
  - adottano i criteri generali formulati dallo Stato e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
  - formulano ulteriori criteri specifici con riferimento alle peculiarità regionali;
  - esaminano, propongono integrazioni e osservazioni e/o approvano gli studi delle aree in liquefazione già definite nel territorio regionale, in coordinamento con lo Stato (Livello 1 di MS);
  - promuovono e coordinano gli studi per definire nuove aree in liquefazione sul territorio regionale e li trasmettono allo Stato (livello MS3);
  - definiscono le mappe delle  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$  (livelli MS1 e MS3);
  - richiedono agli Enti Locali di informare e notificare ai cittadini l'individuazione delle  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$  e i criteri specifici di utilizzo del suolo all'interno delle zone.
- Enti Locali:
  - adottano i criteri specifici formulati dalle Regioni e dalle Province autonome;
  - regolano l'utilizzo del suolo nelle  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$ ;
  - predispongono i Programmi per le aree interessate da liquefazioni;
  - informano, in coordinamento con le Regioni e le Province autonome, i cittadini in merito all'individuazione delle  $Z_{A_{LQ}}$ ,  $Z_{S_{LQ}}$  e  $Z_{R_{LQ}}$  e ai criteri specifici di utilizzo del suolo all'interno delle zone.

## 8 Bibliografia

- AGI (1977) - Associazione Geotecnica Italiana - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- AGI (2005) - Associazione Geotecnica Italiana - Linea guida. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Patron Editore, Bologna.
- Albarello D. (2012) - Design earthquake from site-oriented macroseismic hazard estimates. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, Vol. 53, n. 1, pp. 7-17, DOI 10.4430/bgta 0035
- Ambraseys, N. (1988). Magnitude fault-length relationships for earthquakes in the Middle East, *Proc. Symposium on Historical Seismograms & Earthquakes*, Ed. W.H. Lee, 309-310 Academic Press.
- CEDIT (2013) - Italian Catalogue Of Seismic Ground Failures (<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>).
- D'Amico V., Albarello D. (2008) - SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. *Seism. Res. Lett.*, 79, 5, 663-671
- Eurocode, EC8 (2003) - Design of structures for earthquake resistance: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- Facciorusso J., Madiai C., Vannucchi G., Martelli L. (2012) - Analisi di dettaglio finalizzata alla valutazione della pericolosità di liquefazione: il caso della costa emiliano – romagnola. In: “Microzonazione sismica uno strumento consolidato per la riduzione del rischio”, 83-104. Regione Emilia Romagna.
- Galli P. (2000) - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics*, 324, 169-187.
- ICMS (2008) - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome; 3 vol. e 1 DVD.
- INGV (2006) - Mappe di pericolosità sismica ([http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1\\_en.php](http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php)).
- ISIDe – Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base (<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>)
- Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H (1982) - Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods vol 3. In: *Proceedings of 3rd international conference on microzonation*, Seattle, pp 1319–1330.
- JGS, Japanese Geotechnical Society (1998) - Remedial measures against soil liquefaction: from investigation and design to implementation. Balkema, 433 pp.
- Kramer S. L. (1996) – *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall. New Jersey.
- Liao S.S.C., Veneziano D. & Whitman R. V (1988) – Regression models for evaluating liquefaction probability. *J. Geotech. Engrg.* 1988.114:389-411.
- NTC (2008) - Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, [www.cslp.it](http://www.cslp.it), Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

- Robertson P.K. & Wride C.E. (1998) - Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 35(3), pp.442–459.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. Jr., and Chung, R. (1984). The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-84/15, 50 pp.
- Sherif M.A., Ishibashi I. e Tsuchiya C. (1977) - Saturation effects on initial soil liquefaction. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol.103, n.GT8, pp.914 – 917.
- Spallarossa D. & Barani S. (2007) - Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-e. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>
- Youd, T. L., Perkins, D. M. (1978). Mapping of Liquefaction Induced Ground Failure Potential. *J. GED, ASCE*. Vol 104. N.4.

## APPENDICE A1 – Metodologie impiegate per il calcolo della $M_w$ per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione

Nel testo (paragrafo 2.1), trattando del problema della definizione dell'intensità e durata dello scuotimento necessario per l'attivazione, verificate le altre condizioni necessarie, dei fenomeni di liquefazione, si è richiamata l'esistenza di metodologie classiche per il calcolo della magnitudo  $M_w$  da utilizzare per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione.

In questa appendice, queste metodologie sono descritte, evidenziando per ciascuna, le criticità insite nel metodo. In fondo a questa stessa appendice è riportata anche una metodologia originale, innovativa, basata sull'uso diretto delle osservazioni macrosismiche relative ai terremoti che in passato hanno interessato il sito di studio (storia sismica di sito) e che costituiscono la maggior parte delle informazioni disponibili sulla sismicità del territorio italiano.

Si sottolinea che questa appendice riporta dei metodi che vanno intesi solamente come proposte operative, si ritiene inoltre, che ogni Regione debba adottare il metodo che meglio si adatti alle specificità geologiche, sismotettoniche e sismologiche del proprio territorio.

La  $M_w$  (magnitudo momento), nell'ambito degli studi di liquefazione, è una grandezza legata al processo fisico del terremoto (durata) e al numero di cicli di carico e scarico dei depositi investiti dalla onde sismiche. Quindi è preferibile scegliere una magnitudo di riferimento molto vicina all'area in studio.

Tra i metodi classici, alternativi, di calcolo della  $M_w$  ai fini della valutazione della suscettibilità alla liquefazione, ognuno dei quali ha dei vantaggi e delle controindicazioni, ricordiamo:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI11;
- Criteri del *cut-off* magnitudo-distanza;
- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione (ICMS, 2008).

La magnitudo massima di un catalogo storico comporta che la scelta sia completamente deterministica. La maggior parte delle magnitudo, riportate nei cataloghi, derivano da conversioni empiriche  $M_{ms}$ - $M$  e, dunque, possono presentare delle incertezze proprie di queste trasformazioni.

La magnitudo, definita con i criteri del *cut-off* magnitudo-distanza, comporta ancora una scelta deterministica. Tuttavia, le curve sono costruite con dati di terremoti storici su cui gravano le incertezze sull'epicentro e l'effettiva grandezza.

La magnitudo che deriva dalla disaggregazione è legata a uno studio probabilistico, ma, per come sono state costruite le zone sismogenetiche italiane (molto grandi), può essere scarsamente rappresentativa dell'area di studio.

### **Magnitudo Massima ( $M_{wmax}$ ) dal catalogo DBMI11**

Il catalogo DBMI11 contiene dati relativi a 1681 terremoti con relative  $M_w$  tratte dal catalogo CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a:

- a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri riportati in CPTI11;
- b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono stati utilizzati per determinare i parametri riportati in CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etni (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2002; 2006; 2009).



Per la costruzione di DBMI11 sono stati considerati i dati provenienti dagli studi disponibili a tutto il 2007:

- DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- CFTI4med (Guidoboni et al., 2007);
- Studi storico-macrosismici e rilievi macrosismici di autori INGV;
- Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE);
- Studi storico-macrosismici pubblicati da altri autori;
- Selezione di dati del bollettino macrosismico INGV.

La pagina di consultazione è [http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query\\_place/](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/).

### Criteri del *cut-off* magnitudo-distanza

La distanza oltre la quale i fenomeni di liquefazione verosimilmente non accadono può essere definita plottando la distanza epicentrale dell'area in esame (R) e la magnitudo ( $M_w$ ).

In letteratura esistono molte relazioni che descrivono queste curve "limite" denominate curve di *cut-off*. Le più utilizzate sono quelle di Seed *et alii* (1984), di Ambraseys (1988) e di Galli (2000). In base a queste curve è possibile determinare empiricamente la magnitudo di riferimento per i metodi di calcolo della pericolosità di liquefazione. Un esempio di utilizzo può essere descritto analizzando i dati della tabella costruita con la relazione di Seed *et alii* (1984). Dalla tabella si evince che, se il terremoto considerato ha una  $M=5$ , affinché l'area in studio possa rientrare nelle condizioni del paragrafo 2.1.1 dovrà trovarsi a una distanza inferiore a 15 km dall'epicentro.

Di seguito si riportano le 3 relazioni:

- Relazione empirica di Seed *et alii* (1984) -  $\log_{10} R = 0.463 * M_w - 1.14$

Distanza R (km)	$M_w$
15	5
25	5.5
43	6
74	6.5
126	7
215	7.5
366	8

- Relazione empirica di Ambraseys (1988) -  $M_w = 4.64 + 2.65 * 10^{-3} * R + 0.99 * \log_{10} R$

Distanza R (km)	$M_w$
2	5
7,5	5.5
30	6
60	6.5
150	7
200	7.5
300	8

- Relazione empirica di Galli (2000) (solo dati riferiti al territorio italiano) -  $M_c \approx M_w = 2.75 + 2.0 * \log_{10} R$

Distanza R (km)	M <sub>w</sub>
15	5
24	5.5
45	6
75	6.5
120	7

### Magnitudo Massima (M<sub>wmax</sub>) delle zone sismogenetiche e disaggregazione (ICMS, 2008)

Un metodo semplice, utilizzato ad esempio dalla Regione Lombardia a seguito degli eventi sismici del 2012<sup>7</sup>, per stimare quale sia il valore di M<sub>w</sub> da considerare ai fini delle valutazioni per le verifiche di liquefazione per l'area o la microzona di interesse, è il seguente:

- Si considera la zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), secondo la quale la sismicità è distribuita in 36 zone sismogenetiche, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M<sub>wmax</sub>.
- Per i siti che ricadono in una delle 36 zone sismogenetiche, si assume come M<sub>w</sub> il valore della magnitudo massima M<sub>wmax</sub> (Tabella A3.1), associato ad ogni zona.
- Come si evince dalla Tabella A3\_1 tutti i siti che ricadono nelle zone sismogenetiche hanno una M<sub>wmax</sub>>5 e quindi tutti i siti rispettano la condizione del paragrafo 2.1.
- Per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R<sub>i</sub>) dalle zone sismogenetiche circostanti (i) e si verifica per ciascuna di esse, se la magnitudo della zona sismogenetica considerata (M<sub>i</sub>) è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione  $M_{s_i}=1+3\log(R_i)$ . Nel caso in cui almeno una M<sub>s<sub>i</sub></sub>, calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla M<sub>i</sub> della stessa zona per la quale è stata calcolata M<sub>s<sub>i</sub></sub>, si assume per M<sub>w</sub> il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti (M<sub>i</sub>=M<sub>w</sub>); se invece tutte le M<sub>s<sub>i</sub></sub> sono superiori alle M<sub>i</sub>, si determina la M<sub>w</sub> con il metodo della disaggregazione.

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

---

<sup>7</sup> CNR-IDPA - Acquisizione ed elaborazione di dati geologici, geotecnici e geofisici per la caratterizzazione sismica di parte del territorio lombardo ricadente nell'Area Pilota del Progetto GeoMol - Programma Europeo "Spazio Alpino", 2015

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

**Tabella A1.1 – Rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative  $M_{wmax}$  .**

E' possibile ottenere i valori medi e modali di M e R a seguito della disaggregazione dei valori di accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Spallarossa e Barani, 2007), o con altre probabilità di superamento in funzione degli altri scopi della valutazione. Nella tabella Comuni\_MR del CD-ROM allegato ICMS (2008) sono stati riportati valori medi e modali per ciascun comune, attribuendo i valori massimi dei punti della griglia che ricadono all'interno del territorio comunale, oppure i valori del punto della griglia più vicino al confine comunale.

### Criticità dei tre metodi

La magnitudo stimata da dati storici (quindi derivata dall'intensità macrosismica osservata/ricostruita) presenta notevoli margini di incertezza; sarebbe opportuno considerare anche i dati dei terremoti più recenti rispetto a quelli del catalogo DBMI11 (cataloghi strumentali, es. ISIDe – Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base).

Naturalmente i valori di  $M_w$  riportati nel catalogo possono essere utilizzati solo nel caso la localizzazione dell'epicentro dell'evento non risulti eccessivamente distante ( $\approx 10$  km) dalla località per la quale si sta effettuando lo studio.

In ogni caso i risultati ottenuti con questa metodologia dovrebbero essere ritenuti indicativi e riutilizzati per l'analisi con la metodologia detta del *cut-off* magnitudo-distanza.

Non sempre nel catalogo sono riportate le località di interesse (es. località troppo piccole, denominazioni attuali non corrispondenti a denominazioni storiche).

I criteri magnitudo-distanza, oltre ad essere affetti dall'incertezza del valore di  $M_y$  da dati storici, presentano notevoli incertezze dovute anche alle formule di stima dell'attenuazione con la distanza (vedi confronto tra le 3 tabelle proposte).

La  $M_w$  stimata dalla zonazione ZS9 e dalla disaggregazione risente dell'incertezza della zonazione stessa (e della localizzazione delle strutture sismogenetiche); vista l'estensione areale delle zone ZS9, in alcuni settori della penisola, la  $M_w$  può essere sovrastimata; al contrario, per i territori non ricompresi nella zonazione ZS9 (p. es. molte aree costiere), la stima di  $M_w$  tramite disaggregazione può comportare una sottostima. Inoltre, tra i risultati delle analisi di disaggregazione sono generalmente utilizzati quelli con valore medio senza che esista una formale giustificazione tecnico-scientifica per questa scelta.

## Metodologia originale per il calcolo della Magnitudo per la verifica delle condizioni per la liquefazione (contributo originale di Dario Albarello, Università di Siena)

Le possibilità che un dato evento sismico sia in grado di dare origine a fenomeni di liquefazione dipende dalla intensità e dalla durata dello scuotimento attesi.

Le metodologie note in letteratura e recepite in documenti tecnico scientifici e normativi (per l'Italia vedi Norme AGI e NTC, 2008) tengono conto di questi aspetti definendo una magnitudo di soglia (tipicamente  $M=5$ ), al di sopra della quale si ritiene (insieme ad altre condizioni) si debbano intraprendere analisi di valutazione della liquefazione. I documenti citati non specificano come viene individuata la magnitudo di soglia, non viene indicata la distanza dell'evento al quale si riferisce la magnitudo di soglia e non viene espresso quale sia il rapporto tra la stessa magnitudo di soglia e il valore della PGA che viene utilizzato nella maggior parte delle metodologie per il calcolo della pericolosità di liquefazione.

La determinazione dell'intensità e dalla durata dello scuotimento attesi viene effettuata a partire da analisi di pericolosità sismica condotte utilizzando modelli di tipo probabilistico, finalizzate a determinare il livello di verosimiglianza associato ai diversi possibili scuotimenti attesi a partire da dati relativi alla sismicità passata e dati di altra natura (zone sismogenetiche, relazioni di attenuazione, ecc.). Viene qui proposta una metodologia di questo tipo, ma basata sull'uso diretto delle osservazioni macrosismiche relative ai terremoti che in passato hanno interessato il sito di studio (storia sismica di sito) e che costituiscono la maggior parte delle informazioni disponibili sulla sismicità del territorio italiano.

Rispetto agli approcci usuali (del tipo Cornell-McGuire), i risultati della metodologia proposta presentano i seguenti aspetti fondamentali e che superano le criticità espresse precedentemente:

- identificano una magnitudo soglia legata alla distanza tra l'epicentro di un evento sismico realmente accaduto e il sito in studio;
- mantengono un legame diretto con le osservazioni effettivamente utilizzate per la loro determinazione, consentendo al contempo la corretta gestione delle incertezze inerenti questi dati che risulta coerente con il carattere discreto ed ordinale delle informazioni macrosismiche considerate per l'analisi;
- legano strettamente i valori della  $M_w$  e della PGA (che sono i parametri che permetteranno di effettuare calcoli sul fattore di sicurezza o l'indice di liquefazione con i metodi semplificati) che devono riferirsi, per rispettare la natura fisica del problema, allo stesso evento sismico.

Nella metodologia proposta viene utilizzata l'implementazione del codice SASHA (D'Amico e Albarello, 2008), che, nella sua versione più recente, è in grado di compiere una specifica "analisi di disaggregazione" volta ad identificare gli eventi sismici del passato più rappresentativi della pericolosità locale (Albarello, 2012). Il codice fornisce per ciascuna località capoluogo comunale i valori delle intensità macrosismiche caratterizzate da una fissata probabilità di eccedenza in un fissato tempo di esposizione ( $I_{rij}$ ) e identificando quegli eventi storici che hanno maggiormente contribuito alla definizione di questa pericolosità. Fra questi viene infine selezionato quell'evento che ha fornito il maggiore contributo per l'intensità  $I_{rij}$  indicandone la magnitudo macrosismica e la distanza epicentrale così come riportate dal catalogo sismico di riferimento.

La metodologia prevede 4 fasi:

1. identificazione dell'intensità di riferimento ( $I_{nr}$ ) al sito (per esempio caratterizzata da una probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni) utilizzando un metodo statistico/probabilistico specificamente sviluppato per la gestione di dati macrosismici affetti da incertezza e cataloghi incompleti

2. identificazione degli eventi sismici del passato che hanno interessato il sito di studio (quindi la loro distanza) e hanno contribuito alla pericolosità sismica locale producendo effetti almeno pari a  $I_{rif}$ .
3. assegnazione a ciascuno di questi eventi di una probabilità che quell'evento sia stato effettivamente risentito al sito con una intensità almeno pari a  $I_{rif}$ . Questa ultima fase permette di tenere conto delle incertezze sulle valutazioni di scuotimento nei casi in cui questo sia stato dedotto per via indiretta (da dati epicentrali o da risentimenti in siti vicini)
4. identificazione dell'evento di riferimento come quello caratterizzato dai valori massimi della probabilità definita al punto 3 (considerando a parità di probabilità, quello con magnitudo  $M_w$  maggiore) e comunque caratterizzato da valori di magnitudo e distanza epicentrale  $R$  compatibili con la relazione di Galli (2000) nella forma

$$M_w > 2.75 + 2.0 * \log_{10} R$$

Distanza R (km)	$M_w$
15	5
24	5.5
45	6
75	6.5
120	7

**Tabella A1.2 – Relazione tra la distanza epicentrale R e la minima magnitudo  $M_w$  necessario a provocare fenomeni di liquefazione.**

Per la definizione di un dato territorio comunale come potenzialmente soggetto a liquefazione (in termini di condizioni scatenanti ed al netto della possibile presenza di fattori predisponenti) vengono proposte due condizioni che costituiscono, se verificate entrambe, la condizione per la quale il sito in esame può essere considerato potenzialmente soggetto a liquefazione dinamica:

1. un valore di  $I_{rif}$  almeno pari a VII MCS; questa scelta è dettata dalla considerazione che nelle numerose leggi di conversione  $I_{MCS}$ -PGA, il grado VII MCS corrisponde a circa 0,1 g; inoltre, si vede che solo dal VII grado della scala EMS98 sono presenti effetti di liquefazione fra quelli osservati nell'ambiente naturale in occasione di eventi con questa intensità
2. la presenza nella lista degli eventi che contribuiscono a  $I_{rif}$  di almeno un evento con  $M_w$  e distanze  $R$  (km) compatibile con la relazione di Galli (2000) citata sopra

Un esempio di questo tipo di analisi è riportato (tabelle A2.3 e A2.4) per due località toscane: Pontremoli e Castiglione della Pescaia. Pontremoli è caratterizzata da una  $I_{rif}$  pari a VII MCS, mentre per Castiglione della Pescaia la  $I_{rif}$  è pari a VI MCS. Per entrambi i siti sono poi riportati i dati epicentrali degli eventi che contribuiscono all' $I_{rif}$  (anno, mese, giorno, lat, long,  $M_w$ ,  $I_0$ ,  $R$  distanza dell'epicentro dal sito in studio), con la stima delle probabilità associate.

A partire dalle informazioni contenute nelle tabelle è possibile determinare delle soglie di  $I_{MCS}$  ( $M_w$ )-distanza utili per valutare il pericolo di liquefazione nelle due zone.

Quindi per i due siti in studio:

- Pontremoli passa la condizione. Infatti  $I_{rif} = VII$  MCS, gli eventi del 1481, 1545, 1834 e del 1878 hanno  $M_w$  e  $R$  che rientrano nei valori della relazione di Galli (2000)
- Castiglione della Pescaia non la supera. Infatti  $I_{rif} = VI$  MCS e nessun evento ha una coppia  $M_w$  e  $R$  che rientri nella parametrizzazione della relazione di Galli (2000)

E' possibile, infine, associare una Mw all'evento rappresentativo della pericolosità per liquefazione pari a quella dell'evento per il quale è maggiore la probabilità che sia stato effettivamente risentito al sito con intensità almeno pari a  $I_{rif}$ , scegliendo in caso di parità quello più intenso. Nel caso di Pontremoli, l'evento del 1834 (Mw=5.83) ha la maggiore probabilità di accadimento. La scelta dell'evento (e quindi della Mw) ricadrà su quest'ultimo.

Lat	Lon	I rif	Località							
44.3768	9.8822		7 Pontremoli							
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	Prob	
10	1117	1	3	45.31	11.02	6.69	9.5	137	0.20	
151	1438	6	11	44.84	10.24	5.57	8	59	0.01	
190	1481	5	7	44.27	10.13	5.55	8	23	0.20	
211	1501	6	5	44.52	10.84	5.98	9	78	0.05	
259	1545	6	9	44.47	9.83	5.25	7.5	12	0.50	
613	1767	1	21	44.13	10.12	5.35	7	33	0.03	
829	1828	10	9	44.82	9.05	5.76	8	83	0.01	
842	1831	9	11	44.75	10.54	5.54	7.5	67	0.01	
853	1832	3	13	44.77	10.49	5.53	7.5	65	0.01	
860	1834	2	14	44.43	9.85	5.83	9	7	1.00	
879	1837	4	11	44.18	10.18	5.81	9	33	0.27	
1088	1878	9	10	44.22	10.04	5.06	6.5	22	0.02	
1429	1902	8	4	44.20	10.20	5.14	7	32	0.01	
1803	1920	9	7	44.19	10.28	6.48	10	38	0.50	
1812	1921	5	7	44.38	9.88	4.73	6	0	1.00	
2039	1940	1	24	44.47	10.10	5.03	0	20	0.02	

Tabella A1.3 – Dati riferiti al sito di Pontremoli.

Lat	Lon	I rif	Località							
42.7622	10.88		6 Castiglion della Pescaia							
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	Prob	
49	1276	5	22	42.721	12.091	5.57	8	99	0.02	
54	1279	4	30	43.093	12.872	6.31	9	166	0.10	
66	1298	12	1	42.575	12.902	6.2	9.5	167	0.05	
82	1328	12	1	42.856	13.018	6.38	10	175	0.11	
98	1352	12	25	43.469	12.127	6.44	9	128	0.41	
119	1389	10	18	43.527	12.299	5.99	9	143	0.04	
140	1414	8	7	43.271	11.118	5.61	7.5	60	0.16	
165	1458	4	26	43.463	12.236	5.78	8.5	135	0.01	
256	1542	6	13	44.006	11.385	5.94	9	144	0.03	
260	1545	11	16	43.067	11.643	5.35	7.5	71	0.02	
274	1558	4	13	43.457	11.564	5.82	8.5	95	0.09	
302	1584	9	10	43.862	11.992	5.8	9	152	0.01	
315	1599	11	6	42.724	13.021	5.99	9	175	0.01	
385	1661	3	22	44.021	11.898	6.09	9	162	0.03	
442	1695	6	11	42.613	12.11	5.67	8.5	102	0.03	
462	1703	1	14	42.708	13.071	6.74	11	179	0.39	
510	1724	12	11	43.206	11.008	5.14	7	50	0.02	
552	1741	4	24	43.425	13.005	6.21	9	188	0.03	
569	1747	4	17	43.204	12.769	5.94	9	161	0.01	
578	1751	7	27	43.225	12.739	6.25	10	160	0.09	
620	1768	10	19	43.939	11.901	5.87	9	155	0.01	
671	1781	6	3	43.597	12.512	6.42	10	162	0.18	
718	1789	9	30	43.51	12.217	5.84	9	137	0.02	
744	1799	7	28	43.193	13.151	6.13	9	191	0.01	
847	1832	1	13	42.98	12.605	6.33	10	143	0.21	
914	1846	8	14	43.47	10.562	5.91	9	83	0.22	
1031	1871	7	29	43.301	10.619	5.16	7.5	64	0.01	
1574	1909	8	25	43.133	11.2	5.17	0	49	0.03	
1672	1914	10	27	43.911	10.598	5.76	7	130	0.01	
1742	1917	4	26	43.467	12.129	5.89	9.5	128	0.04	
1769	1918	11	10	43.917	11.933	5.88	9	154	0.01	
1780	1919	9	10	42.793	11.788	5.32	7.5	74	0.01	
1803	1920	9	7	44.185	10.278	6.48	10	166	0.21	
2914	1997	9	26	43.014	12.853	6.01	8.5	163	0.02	

Tabella A1.4 – Dati riferiti al sito di Castiglione della Pescaia

Nell'Allegato 1 sono riportate le mappe del territorio nazionale e la lista dei Comuni per i quali sono verificate le soglie 1 e 2 precedentemente definite e sussiste, dunque, la condizione di suscettibilità alla liquefazione rispetto alla  $M_w$  e alla distanza epicentrale dell'evento sismico.

## APPENDICE A2 – Metodi di mitigazione del rischio dovuto alla liquefazione

Il danno alle strutture, causato da fenomeni di liquefazione, può essere ridotto intervenendo con tre differenti categorie di contromisure (JGS, 1998):

- 1) si dichiara l'area non idonea e si rilocalizzano le strutture già presenti o in progetto;
- 2) si mitiga la pericolosità, mettendo in opera interventi mirati a migliorare le caratteristiche del terreno potenzialmente liquefacibile;
- 3) si riduce la vulnerabilità delle opere antropiche, realizzando interventi mirati a rinforzare le strutture per prevenire il danno.

In occasione di terremoti con livelli di scuotimenti molto alti (Kobe, Giappone) si è comunque verificato che una reale efficacia si ottiene realizzando parallelamente contromisure del punto 2) e del punto 3), piuttosto che quelli del punto 1).

Le contromisure del punto 2) sono mirate a migliorare le caratteristiche del terreno, in modo tale da aumentare la resistenza alla liquefazione, intervenendo su fattori quali:

- incremento della densità del terreno (Fig. A2.1);
- compattazione del terreno (Fig. A2.2);
- riduzione del grado di saturazione, con incremento delle pressioni efficaci (Fig. A2.3);
- dissipazione e controllo della pressione dell'acqua (Fig. A2.4);
- controllo della deformazione al taglio e dell'eccesso di pressione neutra (Fig. A2.5).

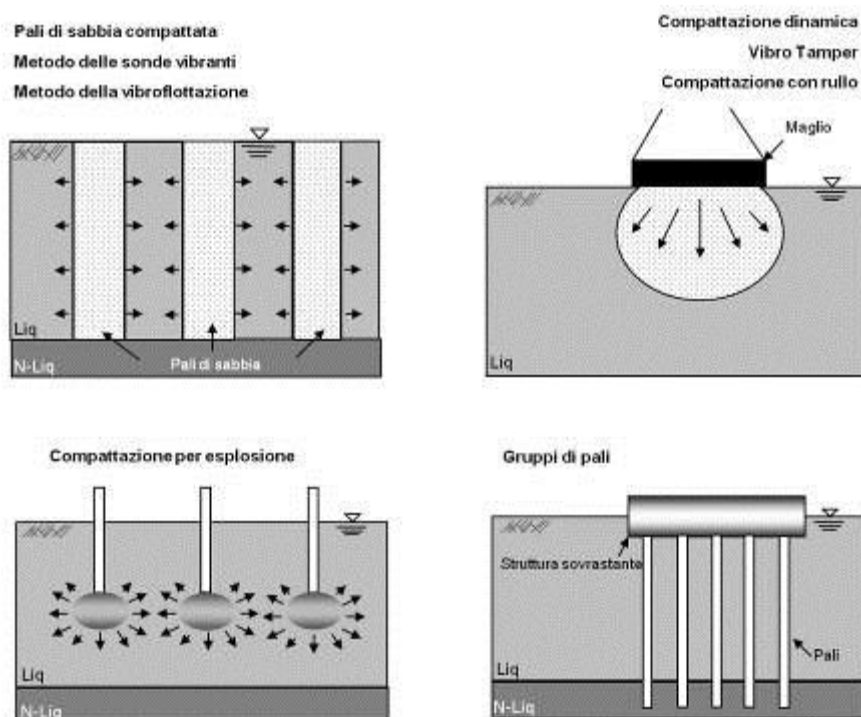


Figura A2.1- Contromisure della categoria 2: incremento della densità dei terreni liquefacibili.



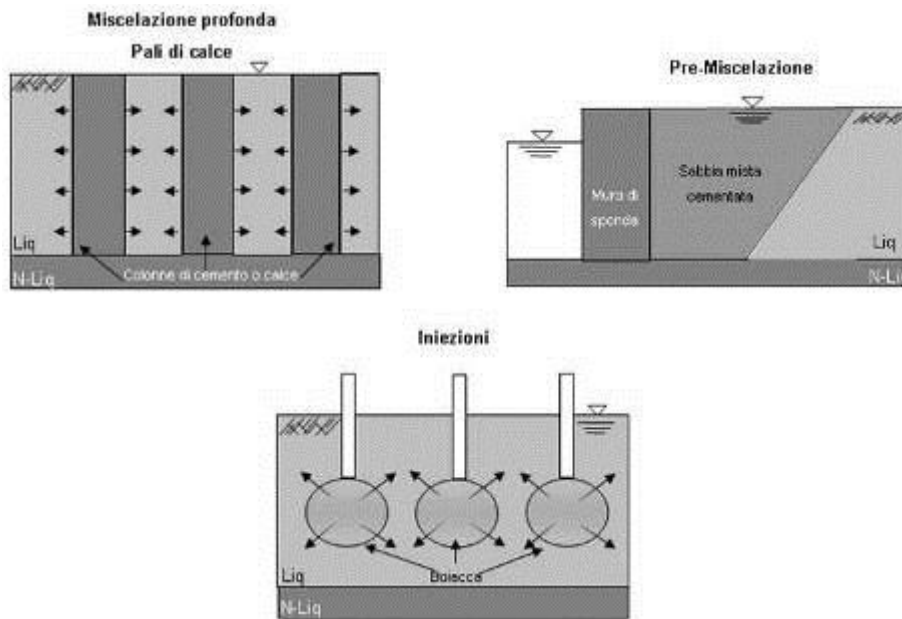


Figura A2.2 – Contromisure della categoria 2: compattazione dei terreni liquefacibili.

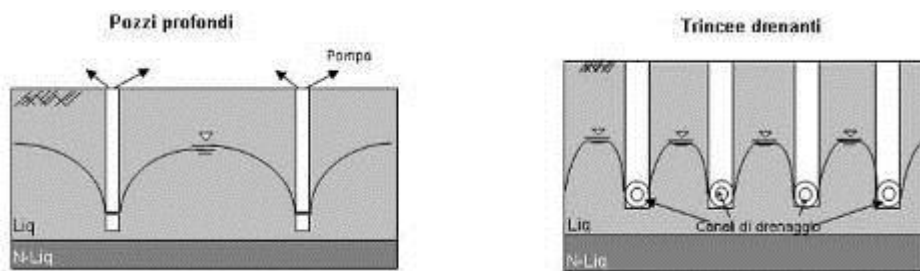


Figura A2.3 – Contromisure della categoria 2: riduzione del grado di saturazione ed incremento degli sforzi efficaci dei terreni liquefacibili.

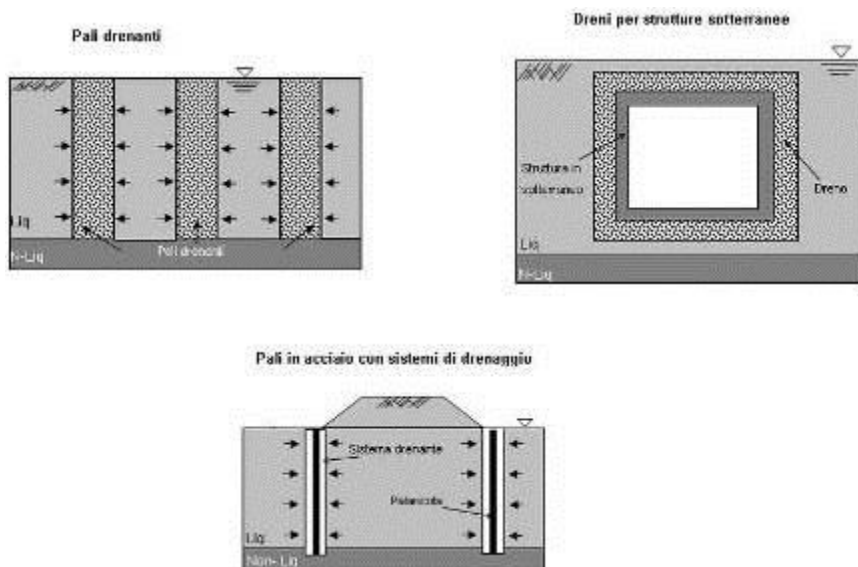


Figura A2.4 - Contromisure della categoria 2: dissipazione e controllo della pressione neutra.

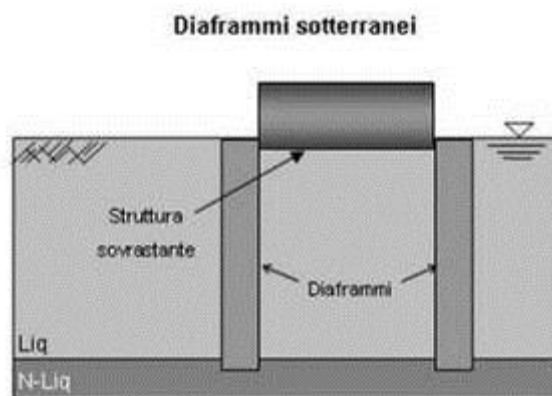


Figura A2.5 - Contromisure della categoria 2: controllo della deformazione al taglio e intercettazione dell'eccesso della pressione dell'acqua.

## APPENDICE A3 – Modalità di intervento in fase di prima emergenza

Gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 hanno interessato un esteso settore della pianura emiliana e dell'Oltrepo mantovano, generando fenomeni di liquefazione, in particolar modo, in corrispondenza di vecchi corsi d'acqua abbandonati.

Tali fenomeni hanno avuto particolare rilevanza soprattutto in due centri abitati del settore occidentale della Provincia di Ferrara: in località S. Carlo, frazione del comune di S. Agostino, e nel comune di Mirabello, causando una temporanea inagibilità di alcuni edifici, la chiusura di strade e l'interruzione di alcuni servizi a causa della rottura delle reti di sottoservizi. Per questo motivo il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ed il Dipartimento di Protezione Civile, hanno incaricato un gruppo di esperti per la valutazione del rischio geotecnico post-sismico nella località più interessata da estesi e significativi fenomeni di liquefazione, S. Carlo di Sant'Agostino e Mirabello.

Gli effetti della liquefazione immediatamente osservati sono stati:

- fuoriuscite di acqua e terreno nella tipica forma di vulcanelli (*sand boils*);
- dislocazioni laterali del terreno (*lateral spreading*) sui dossi
- locali cedimenti uniformi e/o differenziali e talora con rotazioni delle strutture;

Di seguito, per semplicità, sono riportati i primi interventi effettuati a S. Carlo.

Sono stati condotti una serie di sopralluoghi, eseguiti tra il 24 e il 25 maggio, che hanno permesso di evidenziare diversi effetti di tipo geotecnico provocati dal sisma.

In gran parte dell'abitato di San Carlo di Sant'Agostino sono state rilevate importanti fuoriuscite di sabbia sia attraverso rotture del terreno sia attraverso i pozzi per l'emungimento dell'acqua. In particolare, laddove la sabbia non ha trovato la via di uscita preferenziale, costituita dai pozzi, sono state osservate copiose fuoriuscite di acqua mista a terreno:

- in forma di vulcanelli, all'esterno degli edifici;
- in forma di sollevamento del pavimento, nei piani seminterrati e al piano terra degli edifici, con trasporto prevalente del terreno di fondazione più superficiale (in genere a granulometria più fine) e parte del sottostante strato di terreno liquefatto (a granulometria più grossolana);
- fratture.

In corrispondenza degli antichi argini fluviali, morfologicamente più elevati rispetto alla quota media del piano campagna, le fuoriuscite di sabbia, sia esterne che interne agli edifici, sono state accompagnate da diffusi fenomeni di instabilità locali e globali, con conseguenze talora gravi sulla stabilità degli edifici presenti.

Nelle aree morfologicamente più piane e nelle aree sommitali dei dossi, corrispondenti ai rilievi dei sistemi canale-argine, si sono formate fratture profonde, in alcuni casi caratterizzate da dislocazione solo orizzontali anche decimetriche, in altri anche da dislocazioni verticali centimetriche. Gli edifici circostanti hanno subito conseguenti rotazioni e cedimenti.

In Figura A3.1 sono mostrati i siti, nel centro abitato di S. Carlo di Sant'Agostino e dintorni, in cui sono stati osservati i sopracitati effetti di liquefazione sia puntuali che lineari.



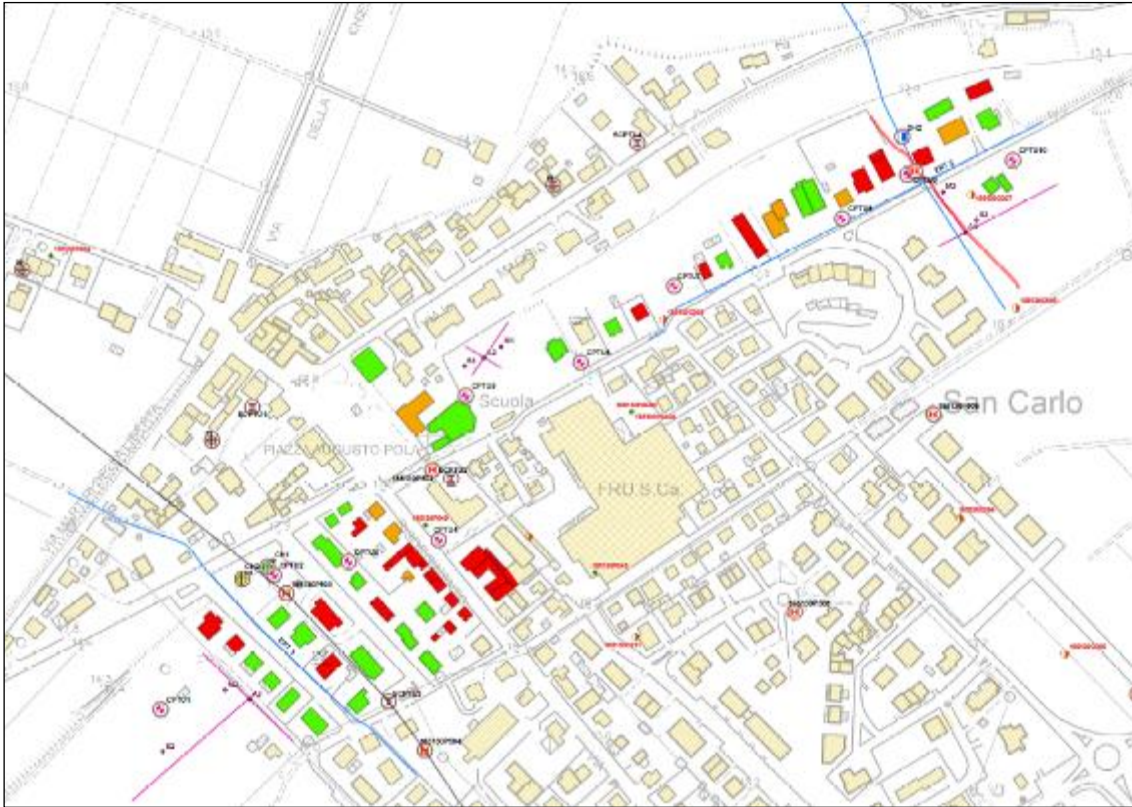
**Figura A3.1 - Effetti della liquefazione osservati a S. Carlo di Sant'Agostino.**

Pertanto, a seguito dei primi sopralluoghi effettuati, sulla base delle evidenze superficiali e dell'osservazione qualitativa dei terreni di fondazione e sulla base del raffronto tra le osservazioni qualitative e le conoscenze geologiche e geomorfologiche pregresse, non potendo escludere il verificarsi di effetti post-sismici differiti nel tempo (nell'ordine di qualche settimana), è stato ritenuto prudenzialmente opportuno dichiarare temporaneamente inagibili alcune aree per rischio geotecnico (zona rossa).

Per meglio identificare le aree interessate da rischio geotecnico elevato, nelle quali concentrare le successive indagini e verifiche, è stata realizzata una cartografia di danno geotecnico degli edifici. In tale carta, gli edifici sono stati classificati in base all'esito delle verifiche eseguite da squadre di ingegneri preposti al rilievo del danno, affiancati da ingegneri geotecnici esperti di liquefazione.

Gli edifici sono stati così classificati (Figura A3.2):

- edificio inagibile per danni strutturali gravi legati alla liquefazione (in rosso),
- edificio da rivedere o parzialmente inagibile per danni strutturali minori legati alla liquefazione (in arancione),
- edificio agibile, ma dichiarato precauzionalmente e temporaneamente inagibile per motivi geotecnici (in verde).



**Figura A3.2 – Classi di danno degli edifici nelle aree con problemi geotecnici.**

A seguito di questa mappatura è stato ritenuto necessario intraprendere un programma di indagini conoscitive sulla natura e le proprietà meccaniche dei terreni mediante una campagna di prove *in situ* (Figura A3.3) atte a:

- definire l'assetto litostratigrafico dei terreni;
- monitorare, mediante la messa in opera di piezometri, le variazioni del livello della falda freatica, durante la fase transitoria post-sisma;
- eseguire prove geotecniche e geofisiche in foro, anche per il prelievo di campioni indisturbati per successive analisi di laboratorio.

È stato, inoltre, allestito un sistema di monitoraggio topografico, mediante livellazione ad alta precisione, per misurare eventuali spostamenti post-sismici degli edifici classificati “verdi” (Figura A4.4). L'attività di monitoraggio geodetico ha avuto lo scopo di determinare eventuali movimenti verticali di diversi edifici adibiti, in prevalenza, ad uso residenziale e, in misura minore, ad attività commerciali e di culto.

Infine tutti i rilievi e le indagini condotte hanno avuto come finalità quella di verificare lo stato dei terreni di fondazione, dopo gli effetti di liquefazione, ed individuare la fine del periodo transitorio post-sismico.

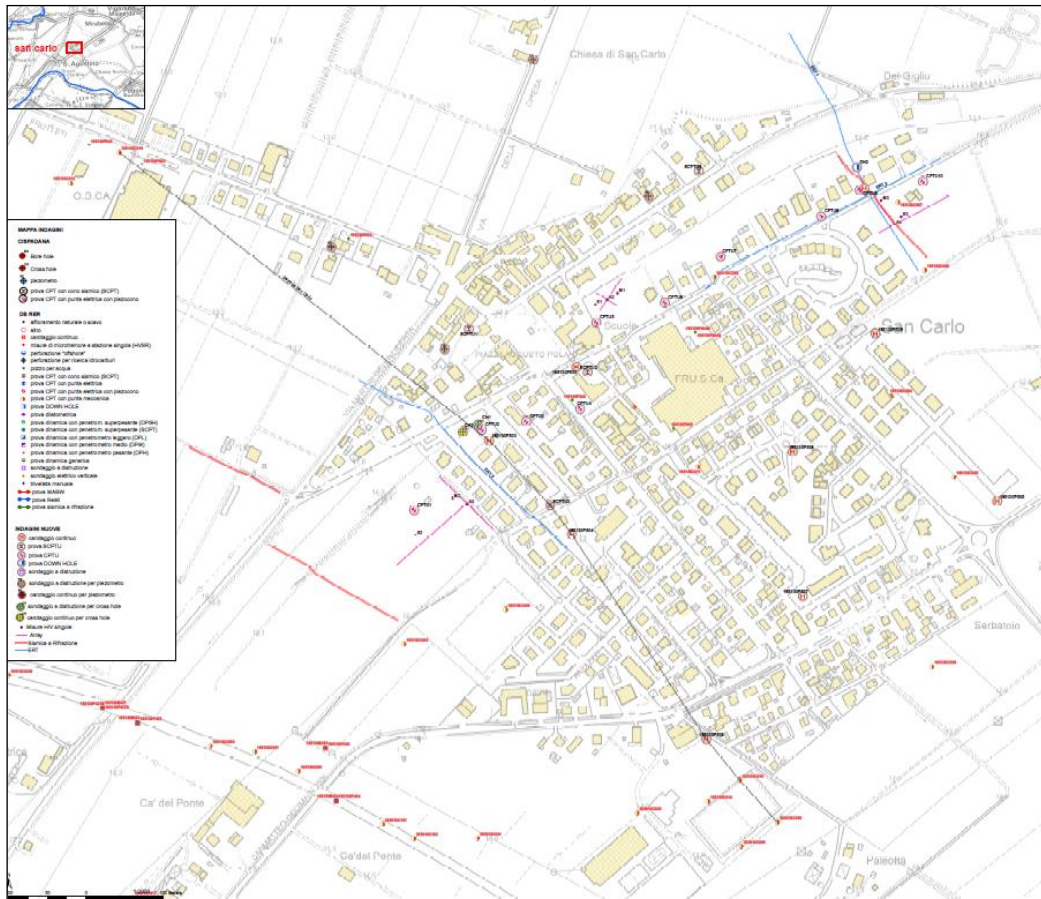


Figura A3.3– Carta delle indagini in situ per l’abitato di S. Carlo di S. Agostino.

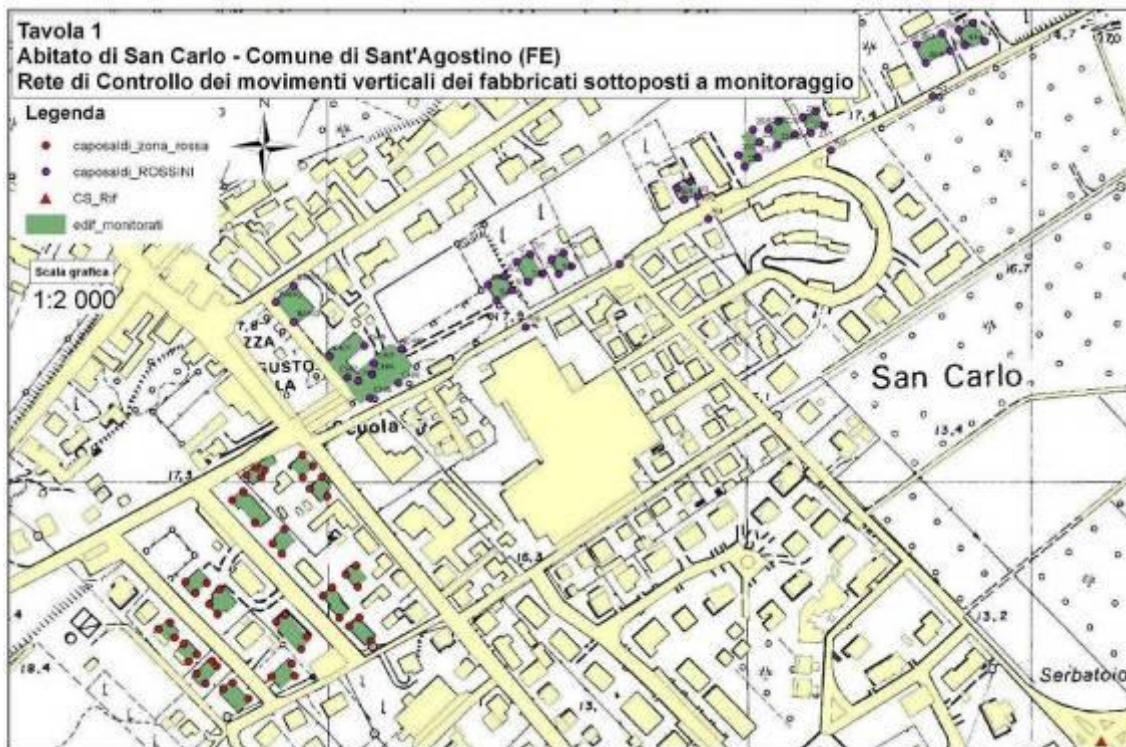


Figura A3.4 – Ubicazione della rete di monitoraggio topografico.

## APPENDICE B1 – Schema di Programma Zone Instabili

### Finalità generale

La finalità generale del Programma Zone Instabili è ridurre gli eventuali effetti dovuti a:

- liquefazioni;
- (...)

### Oggetto e finalità specifiche

1. Le ZS o ZR dei comuni interessati sono oggetto di uno specifico Programma che verifica e persegue [*selezione in funzione della scelta dell'obiettivo*]:

- la delocalizzazione di tutte le funzioni strategiche, con individuazione di altre sedi o nuova realizzazione delle stesse in aree esterne alle ZS e alle ZR;
- la delocalizzazione degli edifici rilevanti, come definiti dal Decreto del Capo Dipartimento della protezione civile n.3685/2003;
- la delocalizzazione delle funzioni residenziali;
- il cambiamento delle destinazione d'uso delle aree non edificate, in funzioni di servizio e altre funzioni, senza volumetrie;
- interventi di mitigazione della pericolosità e della vulnerabilità;
- interventi di adeguamento o miglioramento antisismico sull'edilizia esistente;
- le priorità di intervento fra ZS e ZR.

2. Tale programma individua gli incentivi finanziari, gli incentivi urbanistici e le misure premiali dirette a favorire la rapida e completa attuazione degli interventi di miglioramento, adeguamento o di delocalizzazione, volti anche al raggiungimento di più elevati livelli di sicurezza sismica, efficienza energetica e qualificazione dell'assetto urbano da parte dei privati interessati.

3. Il programma è corredato da un'analisi del fabbisogno finanziario per l'attuazione del programma stesso.

4. Il programma individua interventi che possono essere in conformità con gli strumenti urbanistici generali vigenti, o rendere necessaria la loro variante:

- Qualora risulti indispensabile la realizzazione di nuovi insediamenti prevalentemente residenziali o produttivi, il programma definisce la contestuale realizzazione e completamento delle connesse dotazioni territoriali e infrastrutture per la mobilità;
- Qualora tali previsioni non siano presenti nella pianificazione urbanistica vigente, le stesse devono essere individuate in adiacenza e continuità con i tessuti urbani esistenti.

5. Per la scelta delle aree nelle quali trasferire gli edifici e le funzioni delocalizzate nel programma si individua come prioritario il riuso di immobili e aree dismesse, collocate all'interno del territorio urbanizzato o in fase di urbanizzazione certa.

6. Il programma può essere realizzato anche attraverso specifici piani attuativi, ove necessari, di iniziativa pubblica da approvare mediante Accordo di programma ai sensi dell'art. art. 34 del D.Lgs. 267/2000,

## **Strumenti di attuazione. Piani attuativi**

1. Il programma, per le sue finalità, individua le aree da sottoporre a specifici piani attuativi.

2. I piani attuativi individuati ai sensi del comma 1, disciplinano le trasformazioni urbanistiche da operare nell'ambito delle ZS e delle ZR, per conseguire gli obiettivi generali e specifici indicati all'articolo 2, fra le quali:

- interventi di ristrutturazione edilizia, per l'adeguamento antisismico degli edifici ospitanti funzioni compatibili;
- interventi di ristrutturazione urbanistica con particolare attenzione all'incremento del sistema delle vie di fuga e della loro ridondanza;
- cambiamento di destinazione d'uso per gli immobili che ospitavano funzioni strategiche oggetto di delocalizzazione.

3. I piani individuano le Unità Minime di Intervento, come definite dalle Regioni, che necessitano di modifica della disciplina prevista dalla pianificazione urbanistica, stabilendo i sistemi strutturali, gli ingombri planivolumetrici e le caratteristiche progettuali più appropriate, ai fini della conservazione dei tessuti urbani, e ogni altra regolamentazione di dettaglio necessaria per procedere con intervento diretto alla realizzazione degli interventi. A tal fine è incentivata la costituzione di forme consortili e accordi tra i proprietari degli edifici ricadenti negli interventi unitari, favorendo la sinergia tra pubblico e privato e intervenendo anche sui tempi di esecuzione.

4. Il piano individua le limitazioni per classi d'uso consentite e il tipo di intervento con riferimento alla normativa tecnica e individua inoltre:

- le parti del territorio interessate da ZS e ZR da includere nel piano in funzione della unitarietà e coerenza urbanistica e in funzione delle Unità Minime di Intervento;
- gli ambiti del territorio comunale idonei alla eventuale rilocalizzazione delle funzioni.

5. Allo scopo di assicurare la fattibilità dell'intervento, la delibera di adozione dei piani è corredata da una apposita relazione circa il pieno coinvolgimento di tutti i soggetti privati interessati, attraverso la stipula di accordi compensativi che dimostrino la disponibilità delle risorse finanziarie necessarie per l'attuazione degli interventi.

6. Allo scopo di assicurare il pieno coinvolgimento di tutti i soggetti privati interessati, i contenuti dei piani possono essere oggetto di accordi preliminari con i privati stessi.

7. Il quadro conoscitivo e le valutazioni ambientali dei piani sono predisposti ai sensi della normativa sulla VAS, tenendo conto delle analisi di microzonazione sismica, con particolare riguardo alle aree urbanizzate e a quelle prescelte per i nuovi insediamenti.



## APPENDICE B2 – Schemi sintetici di classificazione

A ciascuna indicazione urbanistica della Tab. B1 (qui riportata nuovamente) vengono associate una o più indicazioni sulla tipologia di intervento per l'edilizia esistente o di nuova costruzione riportate nella Tab. B2.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZSLQ	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZRLQ				

Tabella B2.1 - Indicazioni urbanistiche

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	EL-NI	EL-NI		Programma Infrastrutture
	ZSLQ	EL-NI (EL-NL) (EO-NL) (EO-NI) (ED-NI)	EL-NL		
	ZRLQ				

Tabella B2.2 – Indicazioni sulle tipologie di intervento per l'edilizia esistente e per la nuova edificazione.

### Legenda

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
EL	Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
EO	Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
ED	Esistente	Delocalizzazione	Non è consentito alcun intervento sull'edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
NL	Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
NI	Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

La Tabella B2.2, con riferimento alla disciplina d'uso per le zone di ricostruzione post-terremoto di cui al capitolo 9), per quanto riguarda le Aree edificate (recenti o consolidate), viene così integrata:

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)
Zone di liquefazione	Z <sub>A</sub> LQ	LL-ML-GL
	Z <sub>S</sub> LQ	LL-ML-GL (LL-ML-GL) (LL-ML-GO) (LO-MO-GO)
	Z <sub>R</sub> LQ	LL-ML-GL (LO-MO-GO)

**Legenda Tabella B2.3 - Indicazioni sulle tipologie di intervento per l'edilizia esistente e per l'edilizia danneggiata.**

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
LL ML GL	Danneggiata (danno <b>Leggero</b> , <b>Medio-grave</b> , <b>Gravissimo</b> )	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
LO MO GO	Danneggiata (danno <b>Leggero</b> , <b>Medio-grave</b> , <b>Gravissimo</b> )	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.

Le sigle relative all'edilizia sopra riportate fanno riferimento ad una possibile classificazione dell'edilizia in funzione del danno. Sistemi di classificazione più articolati possono prevedere la valutazione del livello di danneggiamento e l'analisi di vulnerabilità del manufatto.

A titolo esemplificativo viene riportata la metodologia per l'attribuzione del livello di danno e vulnerabilità utilizzata dal Comune dell'Aquila per l'attribuzione degli indennizzi (Comune dell'Aquila, Assessorato alla Ricostruzione, Urbanistica e Pianificazione territoriale, *Sisma Abruzzo 2009, Manuale Istruzioni, Scheda P.E.R. L'Aquila*, gennaio 2013).

Il metodo si basa su un'analisi danno-vulnerabilità degli edifici effettuata utilizzando un'apposita scheda progetto. La correlazione danno-vulnerabilità porta all'individuazione di 4 livelli, utilizzati anche come riferimento per l'indennizzo (Fig. B2\_1). Il livello di danno viene valutato sulla base del rilevamento di danneggiamento a seguito del terremoto, utilizzando la scala EMS98 (Fig. B2\_2). La valutazione della vulnerabilità viene effettuata sulla base di criteri speditivi attribuendo un punteggio a ciascuna tipologia o carenza costruttiva (Figg. B2\_3 e B2\_4)

Correlazione danno-vulnerabilità	Muratura			Cemento armato		
	Livello di vulnerabilità			Livello di vulnerabilità		
	V1 bassa	V2 media	V3 elevata	V1 bassa	V2 media	V3 Elevata
D0 – danno nullo	L0	L0	L1	L0	L0	L1
D1 – danno lieve	L0	L1	L1	L0	L1	L1
D2 – danno moderato	L1	L1	L2	L1	L1	L2
D3 – danno medio	L1	L2	L2	L1	L2	L3
D4 – danno grave	L2	L2	L3	L2	L3	L3
D5 – danno gravissimo	L2	L3	L3	L3	L3	L3

Figura B2.1 – Livelli di indennizzo (L) sulla base della correlazione danno vulnerabilità.

Descrizione dei livelli di danno della scala Ems 98 ottenuti dalla conversione del danno rilevato con la scheda AeDES :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>D1 danno leggero:</b> nessun danno strutturale e danno non strutturale trascurabile; fessure capillari a pochi pannelli murari; caduta di piccoli pezzi di solo intonaco, in rari casi caduta di parti superiori di edifici.</li> <li>• <b>D2 danno moderato non strutturale,</b> lesioni alle murature, cadute di pezzi abbastanza grandi di intonaco; crolli parziali di canne fumarie.</li> <li>• <b>D3 danno medio con</b> estese lesioni in più pannelli murari, lesioni ai cornicioni; crollo di elementi non strutturali.</li> <li>• <b>D4 danno grave</b> alle strutture, crollo di porzione di muri, crollo parziale di cornicioni e solai.</li> <li>• <b>D5 danno gravissimo</b> alle strutture, prossimo al crollo o crollo totale.</li> </ul>	
	
	
	
D1 – danno leggero	D2- danno medio-moderato
D3 – danno medio-grave	D4 – danno grave
D5 – danno gravissimo	

Figura B2.2 – Definizioni dei livelli di danno

**CRITERI ADOTATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA VULNERABILITA' DEGLI EDIFICI IN MURATURA**

Nella sezione D6.12 sono riportati, per ciascun indicatore, il giudizio e il punteggio delle vulnerabilità rilevate, il punteggio totale e il livello di vulnerabilità complessiva.

n.	MODELLO SPEDITIVO VULNERABILITA'	V3 = elevata	V2 = media	V1 = bassa	V3	V2	V1
1	qualità della muratura	caotica, sbazzata senza ricorsi e orizzontalità, diatoni, ...	sbazzata con ricorsi, a spacco, ...	squadrata, mattoni pieni, con ricorsi, diatoni	15	8	4
2	qualità delle connessioni della muratura alle angolate ed ai martelli.	Assente	Irregolari	alternanza regolare	6	4	2
3	Presenza di muratura gravante in falso, almeno su un livello, sulle strutture orizzontali per almeno il 10% della superficie in pianta.	Presente		assente	3	0	0
4	Elevata distanza tra pareti portanti successive (rapporto massimo interasse/spessore della muratura maggiore di 14)	>14	≥10;<14	<10	4	3	2
5	Orizzontamenti : collegamento alle strutture verticali portanti	Assenti o mal collegati	collegamenti poco efficaci	ben collegati	10	7	5
6	Strutture di copertura : collegamento alle strutture verticali portanti	Assente, mal collegato/pesante	collegamenti poco efficaci	ben collegati	8	6	4
7	Presenza di impalcati impostati su piani sfalsati con dislivello maggiore di 1/3 dell'altezza di interpiano	si	No	No	4	0	0
8	Carenza di collegamenti fra gli elementi non strutturali e la struttura.	assente	poco efficaci	efficaci	4	2	0
9	Posizione nell'aggregato	testata/angolo	Interno sporgente	interno	3	2	1
<b>Totale punteggio massimo</b>					<b>57</b>	<b>34</b>	<b>18</b>

Vulnerabilità muratura

La vulnerabilità è stata determinata attribuendo un punteggio a ciascuna tipologia o carenza costruttiva graduato su tre livelli. La vulnerabilità elevata (V3) è attribuita quando il punteggio è maggiore o uguale a 40, la vulnerabilità media (V2) prevede un punteggio compreso tra 25 e 40 e la vulnerabilità bassa (V1) si ottiene per punteggi inferiori a 25.

Livello vulnerabilità	Punteggio
V3 – elevata	>40
V2 – Media	≥21 - ≤40
V1 – bassa	<21

Figura B2.3 – Livelli di vulnerabilità per gli edifici in muratura

**CRITERI PER LA DETERMINAZIONE DELLE VULNERABILITA' DEGLI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO**

La vulnerabilità è stata graduata su tre livelli : Elevata, media e bassa. A ciascuna carenza costruttiva è stata attribuita una classe tra A (principale) e B (secondaria). La vulnerabilità è Elevata (V3) quando sono presenti almeno 3 carenze costruttive di classe A, è bassa (V1) se sono presenti almeno 5 carenze costruttive di classe B e media (V2) in tutti gli altri casi.

Alta	≥ 2 A
Media	Altre combinazioni
Bassa	≤ 3 B

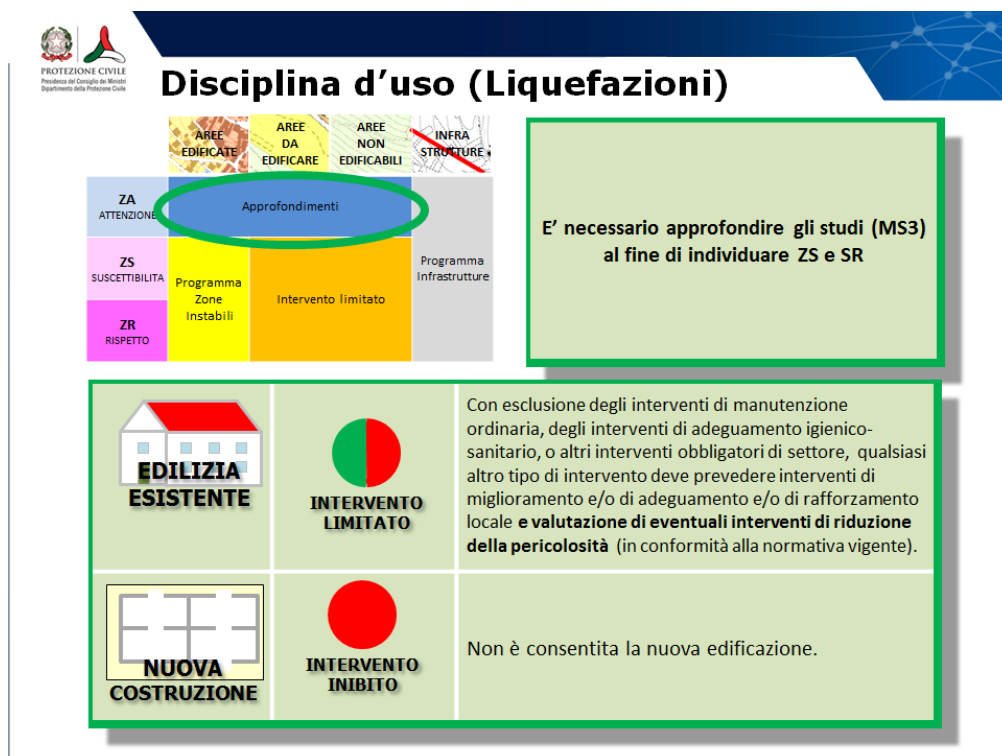
Nella tabella sono riportate gli indicatori di vulnerabilità e la classe

TABELLA RIEPILOGATIVE DELLE CARENZE COSTRUTTIVE GRAVI		A	B
1	Regolarità in pianta	X	
2	Rigidezza de solai		X
3	Distribuzione delle tamponature in pianta		X
4	Distribuzione delle tamponature in elevazione	X	
5	Tamponature fuori della maglia strutturali		X
6	Presenza di pilastri tozzi	X	
7	Carenza del sistema resistente	X	
8	Stato di conservazione		X
9	Assenza del giunto simico		X
10	Carico sui pilastri	X	
11	Resistenza del calcestruzzo	X	
12	Epoca di costruzione		X

tabella riepilogativa delle carenze costruttive gravi

Figura B2.4 – Livelli di vulnerabilità per gli edifici in cemento armato

## APPENDICE B3 – Schema riassuntivo della disciplina d'uso



Slide 1 – Zone di Attenzione: Interventi limitati per l'edilizia esistente e inibizione per le nuove costruzioni




Slide 2 – Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree Edificate: Definizione del Programma Zone Instabili

## Disciplina d'uso (Liquefazioni)



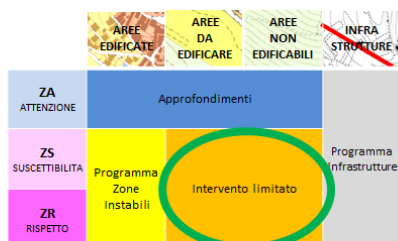
### PZI

Un programma da includere nei propri strumenti di pianificazione urbanistica  
**Scelta di un obiettivo (ZS e ZR):**   
 Obiettivo 1: intervento limitato  
 Obiettivo 2: intervento obbligatorio o limitato  
 Obiettivo 3: Intervento obbligatorio o inibito  
 Obiettivo 4: Intervento inibito

	Obiettivo 1	Obiettivo 2	Obiettivo 3	Obiettivo 4
 <b>EDILIZIA ESISTENTE</b>	 <b>INTERVENTO LIMITATO</b>	 <b>INTERVENTO OBBLIGATORIO</b>	 <b>INTERVENTO OBBLIGATORIO</b>	 <b>DELOCALIZZAZIONE</b>
 <b>NUOVA COSTRUZIONE</b>	 <b>INTERVENTO LIMITATO</b>	 <b>INTERVENTO LIMITATO</b>	 <b>INTERVENTO INIBITO</b>	 <b>INTERVENTO INIBITO</b>

Slide 3 - Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree Edificate: Scelta Obiettivo del PZI

















## Disciplina d'uso (Liquefazioni)



 <b>EDILIZIA ESISTENTE</b>	 <b>INTERVENTO LIMITATO</b>	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
 <b>NUOVA COSTRUZIONE</b>	 <b>INTERVENTO LIMITATO</b>	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).

Slide 4 - Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree non Edificate e Aree non Edificabili: Interventi limitati per l'edilizia esistente e per le Nuove costruzioni

## Disciplina d'uso zone di ricostruzione (Liquefazione)

 <b>EDILIZIA</b> <b>Danneggiata</b>	Obiettivo 1		Obiettivo 2		Obiettivo 3	
	ZS	ZR	ZS	ZR	ZS	ZR
<b>Danno leggero</b>						
<b>Danno medio-grave</b>						
<b>Danno gravissimo</b>						

Slide 5 – Disciplina d'uso per le zone di ricostruzione, in funzione dell'obiettivo prescelto per il PZI.



## **ALLEGATI**

Mappe del territorio nazionale e lista dei Comuni per i quali sono verificate le soglie 1 e 2 definite dalla metodologia di Albarello e sussiste, dunque, la condizione di suscettibilità alla liquefazione rispetto alla Mw e alla distanza epicentrale dell'evento sismico.

Elenco file allegati:

- Liquef\_Alleg1\_Elenco.xlsx
- Liquef\_Alleg1\_Dist.pdf
- Liquef\_Alleg1\_Magn.pdf
- Liquef\_Alleg1\_Risent.pdf