

# REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE E PROTEZIONE CIVILE

*Settore Assetto del Territorio*

**Attività' di prevenzione del rischio sismico di cui all'art.  
11 della L.77/2009**

**ANALISI TERRITORIALE DELLA SUSCETTIVITÀ ALLA  
LIQUEFAZIONE DEI SUOLI SULLA BASE DEI DATI DI  
PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ( $a_g$ , M)**

*propedeutica all'applicazione delle Linee Guida Nazionali per la  
gestione del territorio interessate da liquefazione (LQ)*

# SOMMARIO

Premessa.....	3
Principi generali e richiami teorici .....	3
Analisi territoriale della suscettività di liquefazione dei suoli sulla base dei dati di pericolosità sismica di base (ag, M).....	4

## **ALLEGATI AL TESTO:**

**Tabella 1** : Elenco dei Comuni ove non è possibile escludere a priori l'attivazione di un fenomeno di liquefazione (valor modale della distribuzione della magnitudo attesa (M) maggiore o uguale a 5 e  $a_g$  maggiore o uguale a 0.1g, per un periodo di ritorno di 2475 anni).

## Premessa

Facendo riferimento ai disposti dell'art.11 della L.77/2009 in materia di interventi di prevenzione del rischio sismico è stato predisposto uno studio a carattere regionale sulla potenzialità di liquefazione dei suoli.

Nello specifico è stato conferito al DISTAV dell'Università degli Studi di Genova un incarico rivolto, appunto, a condurre un'analisi territoriale sulla suscettività di liquefazione dei suoli in Liguria, sulla base dei dati di pericolosità sismica di base (ag, M).

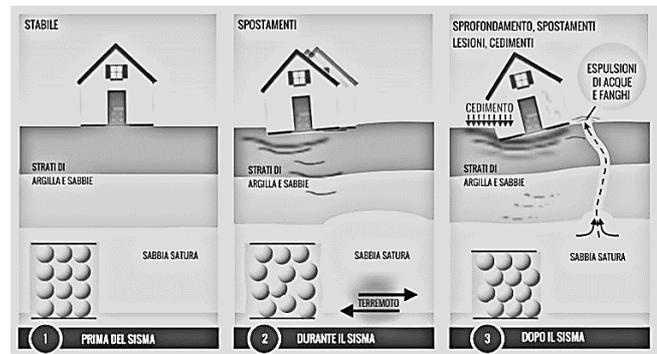
Quanto sopra, su impulso dei lavori della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, istituita presso il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, ed a seguito della approvazione, nel 2017, delle LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE DA FENOMENI DI LIQUEFAZIONE (LQ) che hanno determinato l'esigenza di valutare la natura di tale problematica in Regione Liguria e, nel caso, porre in essere adeguate misure di prevenzione e protezione.

Attraverso tale analisi sono stati individuati, a scala regionale, i Comuni liguri dove è possibile riconoscere la potenzialità del fenomeno di liquefazione dei suoli in funzione delle sole caratteristiche sismiche (i.e. pericolosità sismica).

## Principi generali e richiami teorici

Con il termine "liquefazione" si indicano diversi fenomeni fisici che si verificano nei terreni sabbiosi saturi durante i terremoti di elevata intensità, che hanno come elemento comune una temporanea fluidificazione degli stessi, con conseguenti cedimenti delle strutture di fondazione dei manufatti, apertura di crepe nel terreno e/o la fuoriuscita di materiale misto ad acqua, che invade gli spazi aperti i locali interrati o al piano terra.

Grazie alle ricerche condotte su questo fenomeno è, oramai, noto che la liquefazione può avvenire se vengono soddisfatte alcune condizioni legate ai fattori di sismicità propri del territorio (magnitudo del terremoto e accelerazione massima in superficie, in condizioni di campo libero) ed alla presenza di caratteri geologici e geotecnici predisponenti.



Il potenziale di liquefazione dei terreni viene, pertanto, determinato comparando gli effetti dell'azione sismica legata al terremoto con la resistenza alla liquefazione propria di ciascun suolo. Al riguardo le vigenti norme tecniche sulle costruzioni (DM 17 gennaio 2018) prevedono specifiche verifiche preventive laddove ricorrono particolari condizioni geologiche e geotecniche.

La liquefazione rappresenta, infatti, un rischio concreto per gli edifici durante il verificarsi di un terremoto, anche per le costruzioni in grado di resistere alle scosse sismiche di maggiore intensità, questo perché la stabilità degli stessi viene ad essere compromessa dalla perdita di capacità portante delle fondazioni, cosicché possono essere soggetti a cedimenti totali o differenziali, galleggiamento di opere sotterranee, fino al collasso di opere di sostegno e banchine portuali.

Quindi in tali situazioni non basta costruire applicando solamente i criteri antisismici, ma anche dei criteri, per così dire, “anti-liquefazione”.

## **Analisi territoriale della suscettività di liquefazione dei suoli sulla base dei dati di pericolosità sismica di base ( $a_g$ , M)**

Lo studio è stato sviluppato facendo riferimento ai concetti noti dalla bibliografia scientifica ufficiale per i quali risulta che la possibilità per la quale un terremoto è in grado di generare fenomeni di liquefazione dipende, a livello puramente sismologico, dall'intensità e dalla durata dello scuotimento attesi. Quindi, le due condizioni legate alle caratteristiche sismiche locali necessarie affinché un'area sia potenzialmente soggetta al fenomeno della liquefazione sono:

- $a_{max} \geq 0,1g$  (accelerazione massima attesa superiore o uguale a 0.1g);
- $M_w \geq 5$  (magnitudo del terremoto atteso maggiore o uguale a 5).

La potenzialità di attivazione di un fenomeno di liquefazione deriva, pertanto, dall'identificazione delle aree ove entrambi i criteri sopra elencati sono soddisfatti sulla base anche del confronto coi dati pregressi (es. osservazioni storiche) riportanti episodi di liquefazione realmente osservati all'interno della storia sismica di un determinato ambito territoriale.

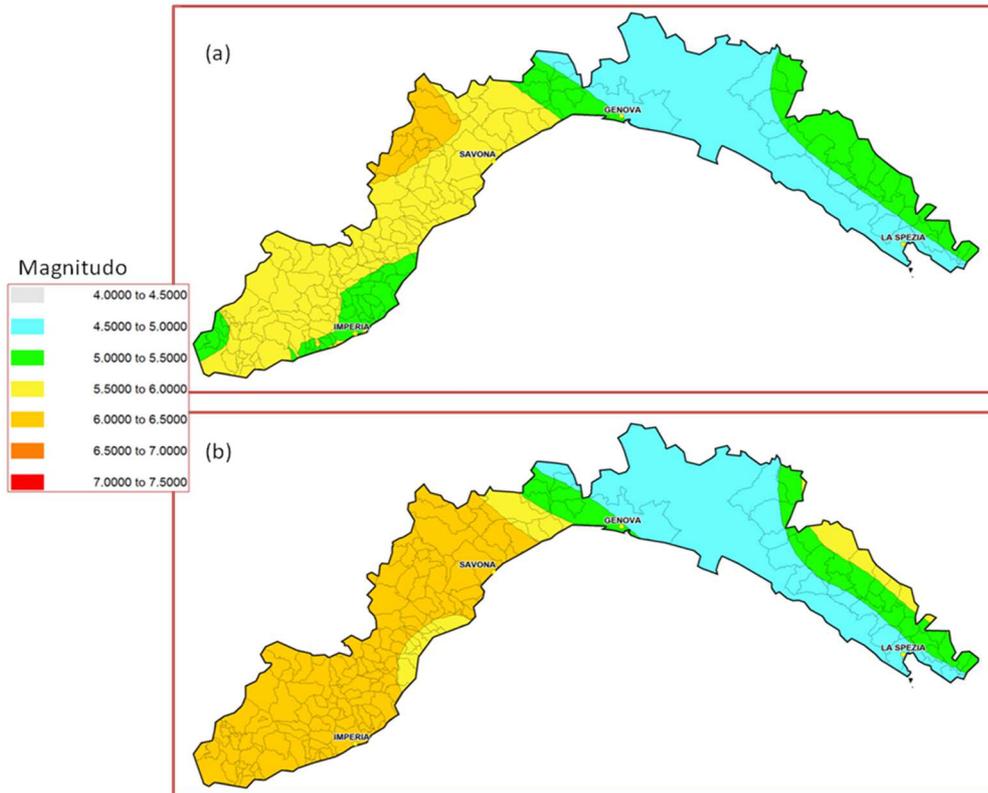
La procedura di analisi è stata sviluppata sulla base dei seguenti dati sperimentali:

- valore di  $a_g$ , utilizzando l'analisi di pericolosità sismica realizzata dal gruppo di lavoro MPS04 ovvero la mappa di **Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale**. Il valore di  $a_g$  è stato valutato considerando tre periodi di ritorno ovvero 475 anni, 975 anni e 2475 anni
- valore di M, utilizzando un'analisi di disaggregazione 1D specificatamente eseguita per il territorio ligure. Tale analisi è stata effettuata sia considerando i tre periodi di ritorno già valutati per il calcolo di  $a_g$  sia considerando la distribuzione dei valori di magnitudo ottenuti dall'analisi di disaggregazione in termini di media e moda separatamente.
- utilizzo dei dati storici di liquefazione osservati sul territorio ligure e censiti all'interno del “The Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures (CEDIT)”, 2014 pubblicato dal centro di ricerca CERi, Università La Sapienza, Roma (<http://www.ceri.uniroma1.it/>).

La fase di individuazione delle aree potenzialmente suscettibili a fenomeni di liquefazione è stata condotta considerando una suddivisione del territorio ligure in funzione dei **limiti Comunali**. A ciascun Comune è stata, quindi, associata una coppia di valori  $a_g$  e M, attraverso cui stabilire se il territorio comunale sia o meno potenzialmente soggetto al fenomeno della liquefazione.

L'analisi ha previsto i seguenti passaggi:

1. Definizione di una mappa ove a ciascun Comune viene attribuito un valore di Magnitudo sulla base dell'analisi di disaggregazione 1D operata considerando un periodo di ritorno pari a 2475 anni. In particolare sono state ottenute due mappe: una riferita ai valori medi di Magnitudo una ai valori modali. Nel dettaglio l'analisi di disaggregazione 1D è stata eseguita considerando il grigliato già adottato per definire la mappa di pericolosità sismica valida per il territorio italiano (MPS04). La distribuzione discreta dei valori di magnitudo dei terremoti che maggiormente contribuiscono alla pericolosità sismica di ciascun nodo è stata quindi opportunamente interpolata (adottando una tecnica analoga a quella impiegata per ottenere la mappa di pericolosità sismica) al fine di ottenere una distribuzione continua sul territorio.



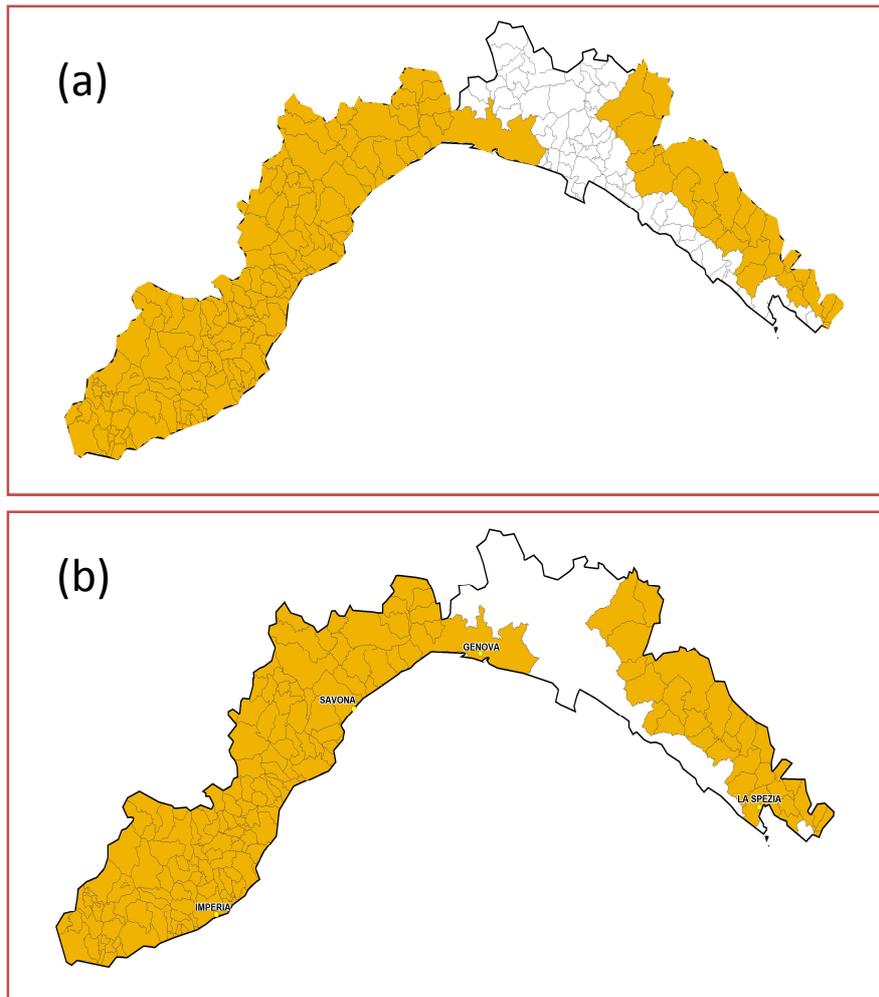
**Figura 1 –**

(a): distribuzione dei valori medi della distribuzione della magnitudo attesa ottenuto attraverso l'analisi di disaggregazione 1D; la scala cromatica individua differenti classi di magnitudo; le aree grigie e azzurre sono caratterizzate da valori di magnitudo inferiori a 5.0.

(b): distribuzione dei valori modali della distribuzione della magnitudo.

Con riferimento all'immagine precedente, si precisa che in figura 1(a) viene riportata la mappa interpolata relativa ai valori di magnitudo attesa considerando il valor medio. In figura 1(b) viene invece riportata la mappa ottenuta considerando i valori modali.

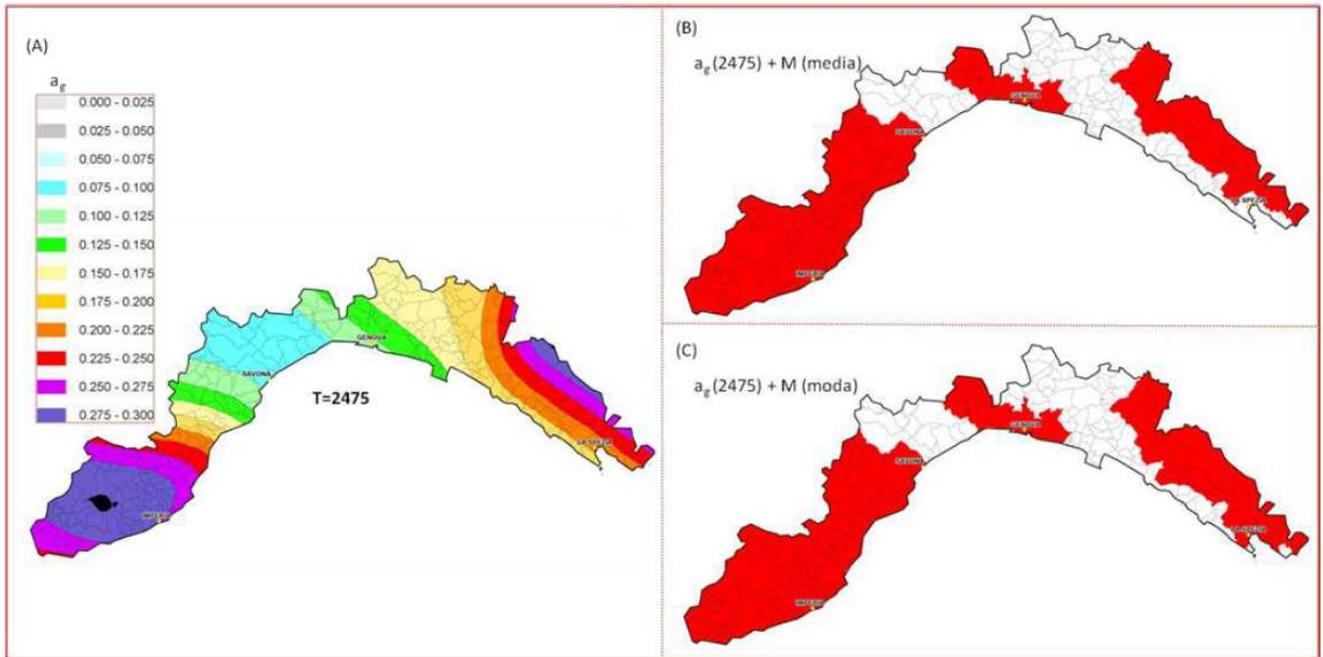
2. Definizione dei Comuni ove il fenomeno della liquefazione non può essere escluso a priori ovvero delle aree comunali ove il valore di magnitudo atteso è risultato essere superiore o uguale a 5. La selezione dei Comuni esenti, per "fattori legati alla magnitudo massima attesa", dal fenomeno della liquefazione è stata effettuata sulla base di un criterio estremamente conservativo: affinché all'interno di un territorio comunale sia possibile escludere a priori il fenomeno della liquefazione, all'interno dell'area comunale non deve essere presente alcun valore di magnitudo maggiore o uguale a 5 ovvero viene considerato il valore massimo di magnitudo calcolato all'interno del territorio comunale. La figura 2(a) riporta, su mappa, la distribuzione dei Comuni ove il fenomeno della liquefazione non può essere escluso a priori (aree arancioni) in funzione del valore medio della distribuzione delle magnitudo attese (derivata dall'analisi di disaggregazione 1D) ovvero le aree ove tale fenomeno può essere escluso (aree bianche). In figura 2(b) la distribuzione dei Comuni ove il fenomeno della liquefazione non può essere escluso a priori (aree arancioni) è invece stata ottenuta considerando la moda della distribuzione dei valori di magnitudo.



**Figura 2 –**

(a): distribuzione dei Comuni caratterizzati da un valor medio della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 (aree arancioni)  
(b): distribuzione dei Comuni caratterizzati da un valore modale della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 (aree arancioni).

3. Definizione di una mappa ove il valore di  $a_g$  viene sovrapposto al valore atteso di Magnitudo. In questa fase vengono individuati tutti i Comuni per i quali il valore di Magnitudo attesa e l'accelerazione attesa superano i limiti convenzionalmente fissati per non poter escludere fenomeni di liquefazione. Le aree comunali ove la magnitudo attesa è maggiore o uguale a 5 e, contemporaneamente, l'accelerazione attesa è maggiore o uguale a 0.1g sono zone ove NON è possibile escludere a priori l'attivazione di fenomeni di liquefazione. Come nel caso della magnitudo, sono state considerate differenti ipotesi nel calcolo e utilizzo dei valori di  $a_g$ . Sono stati considerati tre periodi di ritorno 475, 975 e 2475 anni e sulla base delle ipotesi di lavoro e considerate fino a questa fase, ottenendo 6 differenti mappe ovvero tutte le combinazioni possibili fra le due mappe di magnitudo (figure 1 e 2) – media o moda della distribuzione dei valori di magnitudo attesi considerando un periodo di ritorno di 2475 anni – e le tre mappe in  $a_g$  – valori di accelerazione massima atteso al variare dei tre periodi di ritorno considerati.

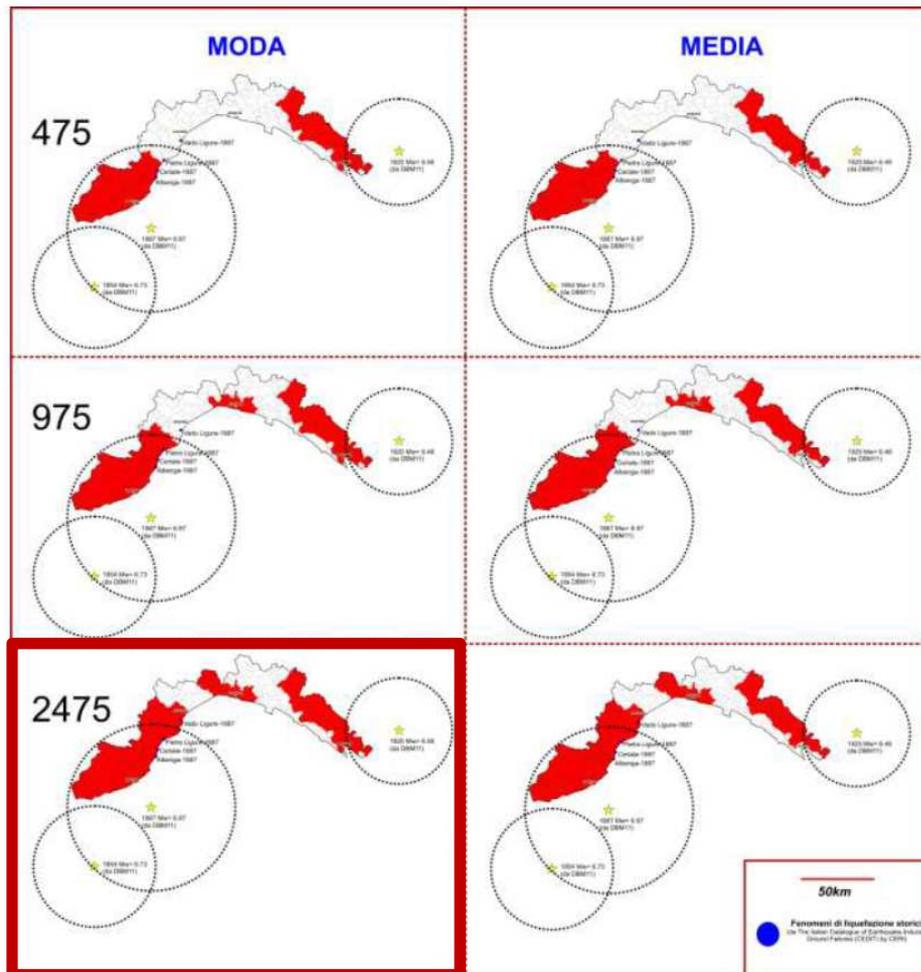


**Figura 3 –**

(A): distribuzione dei valori di  $a_g$  estratti per il territorio ligure dalla mappa di pericolosità sismica italiana (MPS04) per il periodo di ritorno di 2475 anni. (B) Comuni caratterizzati da un valor medio della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 e da un valore di  $a_g$  (per  $T=2475$  anni) uguale o superiore a 0.1g (aree rosse). (C): distribuzione dei Comuni caratterizzati da un valore modale della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 e da un valore di  $a_g$  (per  $T=2475$  anni) uguale o superiore a 0.1g (aree rosse).

4. Validazione delle mappe in funzione delle osservazioni reali di fenomeni di liquefazione come ricavato dai dati storici disponibili. In particolare i dati utilizzati per validare le mappe prodotte in questo lavoro sono di due tipi:
- Fenomeni di liquefazione osservati e censiti attraverso opportune ricerche storiche (Galli, 2000; CEDIT, 2014);
  - Relazioni empiriche tra i parametri epicentrali del terremoto (Intensità e/o Magnitudo) e la distanza entro cui è potenzialmente possibile osservare un fenomeno di liquefazione (Galli, 2000).

I risultati di questa fase di validazione delle mappe di liquefazione sono riportati in figura 4: a ciascuna delle sei mappe prodotte in questo lavoro vengono sovrapposti i dati storici e le distanze teoriche entro cui è potenzialmente possibile osservare un fenomeno di liquefazione in funzione del terremoto considerato.



**Figura 4 –**

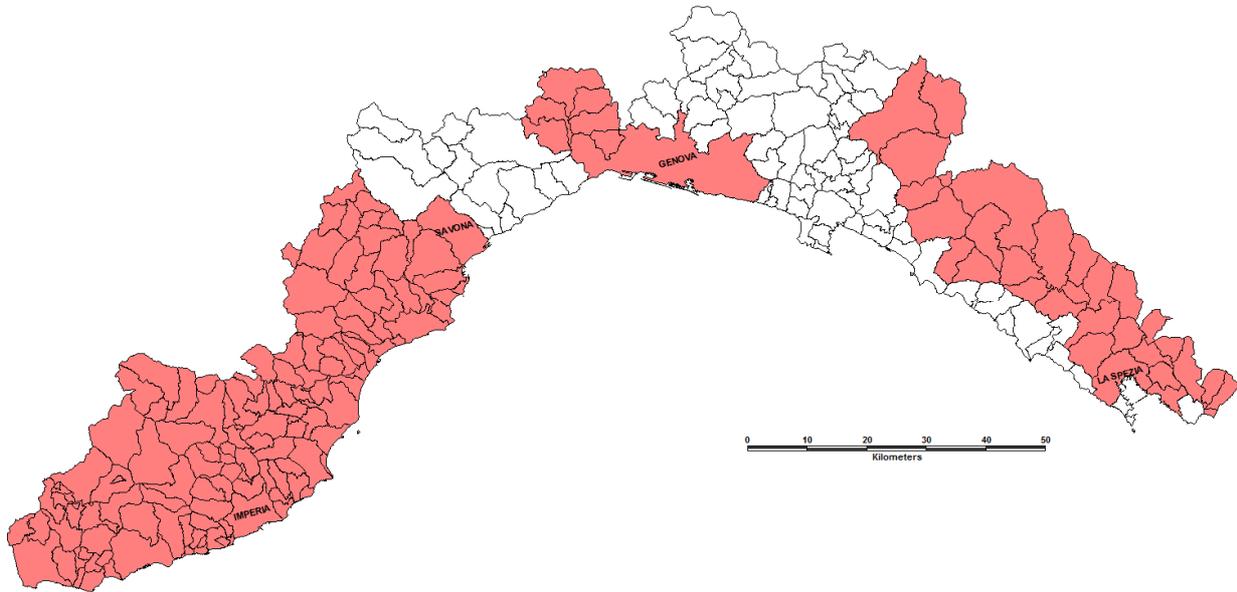
Validazione delle mappe riportanti i Comuni ove il fenomeno della liquefazione è risultato, sulla base della presente analisi, essere potenzialmente possibile sulla base dei dati sismici (ag e Magnitudo). Le mappe sono riportate al variare del valore di magnitudo considerato (valore medio o valore modale) ed al variare del periodo di ritorno (475, 975, 2475 anni). I simboli blu rappresentano i siti ove, storicamente, sono stati segnalati fenomeni di liquefazione. I cerchi tratteggiati neri (associati ai tre eventi sismici principali che hanno interessato storicamente il territorio ligure (terremoto del 1854, del 1887 e del 1920) rappresentano l'area entro cui è possibile osservare fenomeni di liquefazione in funzione della magnitudo del terremoto sulla base delle relazioni empiriche disponibili (Galli, 2000).

Sulla base della metodologia di analisi proposta dal Gruppo di Lavoro del DISTAV risulta, così, che solo considerando, per  $a_g$ , un periodo di ritorno pari a 2475 anni, la selezione dei Comuni ove la liquefazione può avvenire soddisfa interamente i dati "sperimentali" disponibili per il territorio ligure<sup>1</sup>. Inoltre se tale scelta si accompagna con l'assunzione dello scenario più cautelativo riferito alla distribuzione Magnitudo attesa, ovvero utilizzando i valori modali della stessa, è possibile approssimare, in qualche modo, il valore di  $a_{max}$  in superficie, nelle condizioni 'free field' dei terreni

<sup>1</sup> Poiché la finalità della procedura proposta riguarda l'identificare dei Comuni liguri ove le caratteristiche sismiche necessarie all'attivazione di un fenomeno di liquefazione sono soddisfatte (cfr. eventi sismici attesi al sito caratterizzati da valori magnitudo  $M_w \geq 5$  e da un'accelerazione in superficie  $a_{max} \geq 0,1$  g), occorre operare una scelta conservativa in grado di comprendere tutti i Comuni ove, storicamente, sono stati osservati fenomeni di liquefazione, la quale risulta soddisfatta solo nel caso in cui il Periodo di Ritorno considerato risulta pari a 2475 anni. Si osserva, inoltre, che i risultati ottenuti applicando la procedura proposta, considerando il Periodo di Ritorno pari a 2475 anni, trovano similitudine con quanto ottenibile utilizzando la "Metodologia originale per il calcolo della Magnitudo per la verifica delle condizioni per la liquefazione" (contributo originale di Dario Albarello, Università di Siena) riportata nelle citate Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ).

sottoposti a liquefazione, che, diversamente, l'analisi della pericolosità di base, sviluppata unicamente su suolo rigido, non contempla.

Le analisi effettuate e descritte nei punti precedenti indicano, quindi, un elenco di Comuni per i quali, sulla base delle caratteristiche sismiche (valore di accelerazione massima attesa,  $a_g$ , e magnitudo dell'evento sismico dominante la pericolosità sismica), non è possibile escludere l'attivazione di fenomeni di liquefazione, come rappresentato nella figura 5, che segue.



**Figura 5 –**

Distribuzione dei Comuni caratterizzati da un valore modale della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 e da un valore di  $a_g$  (per  $T=2475$  anni) uguale o superiore a 0,1g.

L'elenco completo dei Comuni è riportato in Tabella 1, allegata al presente documento. A tal proposito:

- il valore locale di  $a_g$  potrà essere desunto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni ovvero dal foglio elettronico di calcolo fornito dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "**Spettri-NTC**" in funzione delle coordinate del sito in esame.
- Il valore di magnitudo da impiegarsi nelle verifiche di sito del potenziale di liquefazione (vedi norme tecniche sulle costruzioni) potrà essere ricavato dalla Tabella 1 che riporta il valore modali di  $M$  da adottarsi per ciascuna areale comunale.

Come anticipato nelle parti introduttive del presente documento, per svolgere compiutamente l'analisi relativa alla suscettibilità alla liquefazione presso un sito di indagine, oltre tali dati di carattere sismologico, è necessario reperire ulteriori dati relativi alla (1) litostratigrafia, (2) alla granulometria, (3) alla profondità della falda e (4) alla resistenza dei terreni sotto carico ciclico.

La valutazione delle caratteristiche della successione litologica presso il sito investigato e la definizione della profondità media stazionale della falda acquifera sono, proprio, quegli elementi aggiuntivi da considerare all'interno di una studio di MS di livello 1 per individuare le cosiddette zone di attenzione alla liquefazione ( $Z_{LQ}$ ) secondo le indicazioni tecniche contenute nelle "*Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di liquefazione*".

...segue:

**Tabella 1** : Elenco dei Comuni ove non è possibile escludere a priori l'attivazione di un fenomeno di liquefazione (valor modale della distribuzione della magnitudo attesa maggiore o uguale a 5 e  $a_g$  maggiore o uguale a 0.1g, per un periodo di ritorno di 2475 anni).

**Tabella 1 :**

**Elenco dei Comuni ove non è possibile escludere a priori l'attivazione di un fenomeno di liquefazione (cfr. valor modale della distribuzione della magnitudo attesa maggiore o uguale a 5 e ag maggiore o uguale a 0.1g, per un periodo di ritorno di 2475 anni).**

COMUNE	M
AIOLE	6.5
ALASSIO	6.5
ALBENGA	6.5
ALTARE	6.5
ANDORA	6.5
APRICALE	6.5
AQUILA DI ARROSCIA	6.5
ARCOLA	5.5
ARMO	6.5
ARNASCO	6.5
AURIGO	6.5
BADALUCCO	6.5
BAIARDO	6.5
BALESTRINO	6.5
BARDINETO	6.5
BERGEGGI	6.5
BEVERINO	5.5
BOISSANO	6.5
BOLANO	6.0
BORDIGHERA	6.5
BORGHETTO D'ARROSCIA	6.5
BORGHETTO DI VARA	5.5
BORGHETTO SANTO SPIRITO	6.0
BORGIO VEREZZI	6.0
BORGOMARO	6.5
BORMIDA	6.5
BORZONASCA	5.5
BRUGNATO	6.5
CALICE AL CORNOVIGLIO	6.0
CALICE LIGURE	6.5
CALIZZANO	6.5
CAMPO LIGURE	5.5
CAMPOROSSO	6.5
CARAVONICA	6.5
CARCARE	6.5
CARPASIO	6.5
CARRO	5.5
CARRODANO	5.5
CASANOVA LERRONE	6.5

COMUNE	M
CASARZA LIGURE	5.5
CASTEL VITTORIO	6.5
CASTELBIANCO	6.5
CASTELLARO	6.5
CASTELNUOVO MAGRA	5.5
CASTELVECCHIO DI ROCCA BARBENA	6.5
CASTIGLIONE CHIAVARESE	5.5
CENGIO	6.5
CERIALE	6.5
CERIANA	6.5
CERVO	6.5
CESIO	6.5
CHIUSANICO	6.5
CHIUSAVECCHIA	6.5
CIPRESSA	6.5
CISANO SUL NEVA	6.5
CIVEZZA	6.5
COSIO DI ARROSCIA	6.5
COSSERIA	6.5
COSTARAINERA	6.5
DIANO ARENTINO	6.5
DIANO CASTELLO	6.5
DIANO MARINA	6.5
DIANO SAN PIETRO	6.5
DOLCEACQUA	6.5
DOLCEDO	6.5
ERLI	6.5
FINALE LIGURE	6.5
FOLLO	5.5
GARLEDA	6.5
GENOVA	6.0
GIUSTENICE	6.5
IMPERIA	6.5
ISOLABONA	6.5
LA SPEZIA	5.5
LAIGUEGLIA	6.5
LERICI	5.5
LOANO	6.5
LUCINASCO	6.5

COMUNE	M
MAGLIOLO	6.5
MAISSANA	6.0
MALLARE	6.5
MASONE	5.5
MASSIMINO	6.5
MELE	5.5
MENDATICA	6.5
MEZZANEGO	5.5
MILLESIMO	6.5
MOLINI DI TRIORA	6.5
MONTALTO LIGURE	6.5
MONTEGROSSO PIAN LATTE	6.5
MURIALDO	6.5
NASINO	6.5
NE	5.5
NOLI	6.5
OLIVETTA SAN MICHELE	6.5
ONZO	6.5
ORCO FEGLINO	6.5
ORTONOVO	5.5
ORTOVERO	6.5
OSIGLIA	6.5
OSPEDALETTI	6.5
PALLARE	6.5
PERINALDO	6.5
PIETRA LIGURE	6.5
PIETRABRUNA	6.5
PIEVE DI TECO	6.5
PIGNA	6.5
PLODIO	6.5
POMPEIANA	6.5
PONTEDASSIO	6.5
PORNASSIO	6.5
PRELA'	6.5
QUILIANO	6.5
RANZO	6.5
REZZO	6.5
REZZOAGLIO	5.5
RIALTO	6.5
RICCO' DEL GOLFO DI SPEZIA	5.5
RIVA LIGURE	6.5

COMUNE	M
ROCCAIGNALE	6.5
ROCCHETTA DI VARA	6.0
ROCCHETTA NERVINA	6.5
ROSSIGLIONE	5.5
SAN BARTOLOMEO AL MARE	6.5
SAN BIAGIO DELLA CIMA	6.5
SAN LORENZO AL MARE	6.5
SAN REMO	6.5
SANTO STEFANO AL MARE	6.5
SANTO STEFANO D'AVETO	6.0
SANTO STEFANO DI MAGRA	6.0
SARZANA	6.0
SAVONA	6.5
SEBORGIA	6.5
SESTA GODANO	6.0
SOLDANO	6.5
SPOTORNO	6.5
STELLANELLO	6.5
TAGGIA	6.5
TERZORIO	6.5
TESTICO	6.5
TIGLIETO	5.5
TOIRANO	6.5
TOVO SAN GIACOMO	6.5
TRIORA	6.5
URBE	6.0
VADO LIGURE	6.5
VALLEBONA	6.5
VALLECROSIA	6.5
VARESE LIGURE	6.0
VASIA	6.5
VENDONE	6.5
VENTIMIGLIA	6.5
VESSALICO	6.5
VEZZANO LIGURE	5.5
VEZZI PORTIO	6.5
VILLA FARALDI	6.5
VILLANOVA D'ALBENGA	6.5
ZIGNAGO	6.0
ZUCCARELLO	6.5