

Regione Lazio

Atti della Giunta Regionale e degli Assessori

Deliberazione 24 ottobre 2024, n. 832

Approvazione delle "Linee guida sulla analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio".

OGGETTO: Approvazione delle “Linee guida sulla analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio”.

LA GIUNTA REGIONALE

Su proposta dell'Assessore Lavori pubblici, Politiche di Ricostruzione, Viabilità, Infrastrutture

VISTO lo Statuto della Regione Lazio;

VISTA la legge regionale 18 febbraio 2002, n. 6 concernente “Disciplina del sistema organizzativo della Giunta e del Consiglio e disposizioni relative alla dirigenza ed al personale regionale” e successive modifiche e integrazioni;

VISTO il regolamento regionale 6 settembre 2002, n. 1 recante “Regolamento di organizzazione degli uffici e dei servizi della Giunta regionale” e successive modifiche e integrazioni;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 9 dell'11/01/2024, con la quale è stato conferito all'Ing. Luca Marta l'incarico di Direttore della Direzione Regionale “Lavori Pubblici e Infrastrutture, Innovazione Tecnologica”;

VISTO l'Atto di Organizzazione n. G09114 del 09/07/2024 con il quale è stato conferito all'Arch. Maria Cristina Vecchi l'incarico di dirigente dell'area “Pareri Geologici e Sismici, Suolo e Invasi” della Direzione Lavori Pubblici e Infrastrutture, Innovazione Tecnologica;

VISTA la L.R. n°53 del 11/12/ 1998 “Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della legge 18 maggio 1989, n. 183”;

TENUTO CONTO che l'art. 16 – comma 4 della L.R. 53/1998 riporta: “*Le strutture regionali assicurano il libero accesso al sistema informativo al fine di pubblicizzare i dati raccolti e le elaborazioni effettuate*”;

VISTA la L.R. n°12 del 18/12/2018 recante “Disposizioni in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico. Ulteriori disposizioni per la semplificazione e l'accelerazione degli interventi di ricostruzione delle aree colpite dagli eventi sismici del 2016 e successivi”;

TENUTO CONTO che l'art. 2 - comma 1 - lettera a) della L.R. 12/2018 dispone che : “*[la Regione] promuove, svolge ed incentiva lo studio e l'analisi sui fattori di rischio sismico del territorio [...]*”;

VISTO l'art. 89 del D.P.R. n. 380 del 6 giugno 2001 “Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 2649 del 18 maggio 1999 “Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale estensione dell'applicabilità della legge n. 64 del 02/02/1974”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 655 del 08 maggio 2001 “Modifica della deliberazione della Giunta regionale n. 2649 del 18 maggio 1999. Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale. Estensione dell'applicabilità della legge 2 febbraio 1974, n.64”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 387 del 22 maggio 2009 e la Deliberazione della Giunta regionale n. 835 del 03 novembre 2009, con le quali è stata adottata la “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio, in applicazione all'OPCM 3519/06 e alla Deliberazione della Giunta regionale n.766 del 01 agosto 2003”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 545 del 26 novembre 2010, riguardante le “Linee guida per l'utilizzo degli indirizzi e dei criteri generali per studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio di cui alla DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009. Modifica della Deliberazione della Giunta regionale n. 2649 del 18 maggio 1999”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n.155 del 7 aprile 2020 di “Revoca della deliberazione di Giunta regionale 21 ottobre 2011, n. 490 - Approvazione degli Abachi Regionali per gli studi di

Livello 2 di Microzonazione Sismica e delle procedure di applicazione nell'ambito dell'espressione del parere ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. n. 380 del 6 giugno 2001”;

VISTO il Regolamento regionale del 26 ottobre 2020, n. 26 recante “Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche;

CONSIDERATO che nell'allegato C del regolamento regionale 26/2020 viene richiamato come argomento da approfondire quello della “*Liquefazione*”;

VISTA la Deliberazione della Giunta regionale n. 312 del 29 maggio 2020, recante “Approvazione dei “Criteri e modalità per il finanziamento ai singoli comuni e per le indagini e rilievi da eseguire per realizzazione dello studio di microzonazione sismica di livello 3” ai sensi dell'art. 2, comma 2, della L.R. 18 dicembre 2018 n. 12;

VISTA la determinazione n° G13917 del 23/11/2020 avente ad oggetto “Accordo di cooperazione istituzionale tra la Regione Lazio - Direzione Regionale Lavori Pubblici, Stazione Unica Appalti, Risorse Idriche e Difesa del Suolo, Area Tutela del Territorio e il Centro di Ricerca CERI “Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici” dell'Università degli Studi di Roma “La Sapienza” per “Analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio”;

VISTA la nota del Centro di Ricerca CERI, prot. n° 0739183 del 05-07-2023 con cui si trasmettono i risultati finali, ed in particolare:

- La relazione avente come titolo “Analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio”
- La Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni;
- Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni considerando i fattori di amplificazione stratigrafica Ss;

VISTA la nota, acquisita al protocollo con n° 1160306 del 24/09/2024, con la quale il CERI ha trasmesso le mappe tematiche aggiornate che considerano anche la presenza in affioramento dei Travertini e le relative mappe dell'indice di congruenza spaziale;

RITENUTO di prendere atto dei risultati dello studio eseguito dal CERI sull'Analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio;

RITENUTO, ai fini della prevenzione del rischio sismico ed in particolare alla prevenzione degli effetti cosismici inerenti al fenomeno della liquefazione, di pubblicare sul sito Web della Regione Lazio le cartografie prodotte nell'ambito dell'accordo di cooperazione istituzionale;

RITENUTO inoltre, ai fini della prevenzione del rischio sismico ed in particolare agli effetti cosismici inerenti al fenomeno della liquefazione, di emanare apposite linee guida relative alla analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio”;

VISTO l'Allegato A denominato “*Linee guida sulla analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio*”, che costituisce parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;

CONSIDERATO che le direttive di cui all'Allegato A sono finalizzate all'approfondimento del fenomeno della liquefazione nell'ambito della pianificazione territoriale, ed in particolare nell'espressione dei pareri ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. n. 380 del 6 giugno 2001, mediante l'esecuzione di dettagliati rilevamenti e approfondite indagini geologiche e geomorfologiche;

DATO ATTO che la presente deliberazione non comporta oneri a carico del bilancio regionale;

DELIBERA

per le motivazioni di cui in premessa e che qui si intendono integralmente richiamate:

1. di prendere atto dei risultati dello studio sull'Analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio eseguito dal Centro di Ricerca CERI "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" in attuazione dell'Accordo di Cooperazione Istituzionale con la Regione Lazio di cui alla determinazione n° G13917 del 23/11/2020;
2. di approvare l'Allegato A denominato "Linee guida sulla analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio", che costituisce parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;
3. La Direzione Regionale "Lavori Pubblici e Infrastrutture, Innovazione Tecnologica", provvederà a tutti gli adempimenti necessari a dare attuazione alla presente deliberazione, ivi compreso la pubblicazione dei principali risultati del Monitoraggio del CERI sul sito web della Regione Lazio.

La presente deliberazione sarà pubblicata sul BUR della Regione Lazio e sul sito internet <http://www.regione.lazio.it>.

ALLEGATO A



REGIONE
LAZIO

**Direzione regionale Lavori Pubblici, Stazione Unica Appalti,
Risorse Idriche e Difesa del Suolo**
Area Tutela del Territorio - Servizio Geologico e Sismico Regionale

Linee guida sulla
analisi di suscettibilità alla liquefazione nel territorio della Regione Lazio

INDICE

| | |
|---|----|
| PREMESSA..... | 3 |
| 1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL FENOMENO FISICO DELLA LIQUEFAZIONE..... | 3 |
| 2 METODI PER LA PREVISIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE | 4 |
| 3 LE AREE SUSCETTIBILI AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE NELLA REGIONE LAZIO..... | 4 |
| 3.1 Cartografia delle aree suscettibili alla liquefazione | 4 |
| 3.2 Cartografia delle aree suscettibili alla liquefazione considerando i fattori di amplificazione stratigrafica..... | 5 |
| 3.3 I depositi di Travertino..... | 6 |
| 3.4 Mappa dell'indice di congruenza spaziale (ICS) | 7 |
| 4 LE AREE SUSCETTIBILI ALLA LIQUEFAZIONE E LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE..... | 7 |
| 4.1 Verifica dell'esistenza di aree suscettibili alla liquefazione | 8 |
| 4.2 Procedure per l'analisi di suscettibilità alla liquefazione..... | 8 |
| 4.2.1 Procedura A: | 8 |
| 4.2.2 Procedura B:..... | 9 |
| 4.2.2.1 Calcolo del FSL | 9 |
| 4.2.2.2 L'indice di probabilità di liquefazione (IPL) | 10 |
| 4.2.3 Procedura C..... | 11 |
| 4.2.3.1 Sintesi delle procedure | 11 |
| 4.3 Utilizzo delle procedure | 12 |
| 4.3.1 Casistica 1 e 3 | 13 |
| 4.3.2 Casistica 2 e 4 | 13 |
| 4.3.3 Casistica 5 e 6 | 13 |
| 5 DOCUMENTAZIONE PREVISTA NELL'AMBITO DELLA PREDISPOSIZIONE DEL PARERE AI SENSI DELL'ART.89 DEL DPR 380/01 | 14 |

PREMESSA

La Regione Lazio, nell'ambito di una politica sempre più attenta ad una pianificazione del territorio mirata alla prevenzione e/o mitigazione dei disastri naturali, ha approfondito il tema delle aree suscettive al fenomeno della liquefazione.

Al fine di realizzare quanto premesso è stata attivata nel 2021 un accordo di cooperazione istituzionale con il CERI (Centro di Ricerca per la "Previsione Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici) dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Sulla base del documento scientifico-tecnico redatto dal CERI la Direzione Regionale Lavori Pubblici, Stazione Unica Appalti, Risorse Idriche e Difesa del Suolo, per il tramite dell'Area Tutela del Territorio - Servizio Geologico e Sismico regionale, ha predisposto il presente Allegato Tecnico per l'analisi della suscettibilità dei terreni nei confronti dei fenomeni di liquefazione nell'ambito della pianificazione territoriale.

I contenuti che si propongono, con le presenti *linee guida sulla analisi di suscettibilità alla liquefazione*, dovranno essere riportati nella relazione geologica redatta per l'acquisizione del parere di compatibilità geomorfologica (nell'ambito di quanto previsto dall'art.89 del DPR 380/01), escludendo i progetti per opere rilevanti o strategiche.

1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL FENOMENO FISICO DELLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione dei terreni rientra tra gli effetti cosismici di deformazione permanente del terreno. Le sollecitazioni dinamiche indotte da forti terremoti (tipicamente $M_w \geq 5$) portano all'instaurarsi di condizioni non drenate con incremento ed accumulo delle pressioni interstiziali, che possono arrivare fino all'annullamento della resistenza al taglio dei terreni con conseguente fluidificazione degli stessi. Le conseguenze della fluidificazione dei terreni si traducono in fessurazioni nei terreni con conseguente fuoriuscita di acqua e materiale fine, perdita della capacità portante con danneggiamento del sistema fondale delle strutture fino al loro collasso e movimento laterale dei terreni (lateral spreading).

Non tutti i terreni hanno la stessa predisposizione a liquefarsi. Esistono infatti una serie di fattori di tipo geologico e geotecnico che possono rendere un deposito granulare più o meno suscettibile alla liquefazione. Affinché avvenga il fenomeno della liquefazione, oltre a specifiche condizioni dello scuotimento sismico (*fattori scatenanti*), è necessario che i terreni abbiano determinate caratteristiche geologico-geotecniche ed idrogeologiche (*fattori predisponenti*).

- Fattori scatenanti – dipendenti da caratteristiche del moto sismico:
 - a) Magnitudo di riferimento $M_w \geq 5$;
 - b) Scuotimento atteso al suolo $PGA > 0.1$ g;
 - c) Durata del terremoto almeno 15 – 20 secondi;
 - d) Ampiezze degli sforzi ciclici e frequenze dei carichi indotti.

- Fattori predisponenti – dipendenti delle peculiarità geologico – geotecniche ed idrauliche:
 - a) Tipologia del deposito – il fenomeno della liquefazione dei terreni è favorito in depositi recenti caratterizzati da morfologia pianeggiante;
 - b) Caratteristiche granulometriche dei terreni – orizzonti non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose);

- c) Grado di addensamento – generalmente si può considerare potenzialmente liquefacibile un terreno caratterizzato da densità relativa $< 60\%$;
- d) Tensione litostatica verticale efficace - lo stato di tensione efficace aumenta linearmente con la profondità pertanto sono richiesti valori di pressione interstiziale progressivamente sempre più elevati per annullare lo sforzo efficace agente;
- e) Condizioni idrogeologiche del deposito – i terreni suscettibili di liquefazione debbono essere saturi, o comunque caratterizzati da percentuale di saturazione prossima a 1 (100%); generalizzando si può affermare che la probabilità di liquefazione è massima con falda entro 3 metri dal p.c., tende a diminuire fino a divenire praticamente nulla oltre i 15/20 metri dal p.c.

2 METODI PER LA PREVISIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

I metodi utilizzati per la previsione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione possono essere definiti come empirici, semplificati e avanzati. La scelta di un metodo rispetto ad un altro dipende da diversi fattori principalmente legati alla risoluzione del modello geologico - stratigrafico - idrogeologico - sismico dell'area.

- **Metodi empirici** - si basano sull'identificazione dei fattori predisponenti, principalmente attraverso l'uso di dati bibliografici e si applicano per valutazioni a piccola scala. Molti di questi metodi possono essere utilizzati *indipendentemente* dalla conoscenza della forza sismica. La stima del grado di suscettibilità dei depositi alla liquefazione può essere ottenuta tramite semplici diagrammi di flusso condizionali. Tuttavia, il valore del giudizio esperto è imprescindibile, poiché nella maggior parte dei casi la valutazione dei fattori predisponenti si basa sull'interpretazione di dati bibliografici e rilevamenti sul campo.
- **Metodi semplificati** – Per l'applicazione di questi metodi è necessario definire alcuni parametri relativi sia all'evento sismico (fattori scatenanti) sia al deposito (fattori predisponenti). Questi ultimi vengono valutati principalmente attraverso prove in situ sia di carattere geologico-geotecnico che geofisico. I metodi semplificati si basano sul concetto di rapporto tensionale ciclico (CSR), che è una funzione della forza sismica, e sul rapporto di resistenza ciclica (CRR), che dipende dalle proprietà fisico-meccaniche del deposito in termini di resistenza alla liquefazione. Il rapporto tra queste due variabili costituisce il Fattore di Sicurezza rispetto alla liquefazione ($FSL = CRR/CSR$), che viene calcolato a diverse profondità.
- **Metodi avanzati** - I metodi avanzati richiedono una conoscenza molto dettagliata della natura dei terreni e la creazione di un modello ad alta risoluzione. Per ottenere una buona caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni è essenziale comprendere il loro comportamento in condizioni dinamiche cicliche. Il modello del terreno deve tener conto della sua natura bifase (solida - fluida). Inoltre, è necessario determinare i profili verticali degli sforzi e delle deformazioni di taglio attraverso simulazioni numeriche di Risposta Sismica Locale (RSL).

3 LE AREE SUSCETTIBILI AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE NELLA REGIONE LAZIO

Nell'ambito dell'Accordo di cooperazione con il CERI sono state prodotte una serie di cartografie sulla suscettibilità dei terreni nei confronti dei fenomeni di liquefazione per l'intero territorio della Regione Lazio (scala $\approx 1:100.000$). Queste cartografie sono state create sulla base della identificazione e riclassificazione di attributi geologico-stratigrafici, granulometrici-sedimentologici, idrogeologici-idraulici, morfometrici e sismici.

3.1 Cartografia delle aree suscettibili alla liquefazione

Disponendo di una mappatura dei fattori predisponenti e dei fattori scatenanti è possibile individuare aree potenzialmente suscettibili alla liquefazione dei terreni per l'intero territorio della Regione Lazio. La mappa,

in formato raster, in continuità con le sue generatrici suddivide il territorio in due zone: Non liquefacibile e Potenzialmente Liquefacibile (fig. 1). La mappa è stata realizzata considerando una soglia minima di scuotimento sismico caratterizzato da PGA (ag) pari a 0.1 g. La mappa generatrice dei valori di PGA è stata realizzata considerando un tempo di ritorno pari a 475 anni con probabilità di superamento pari al 10%.

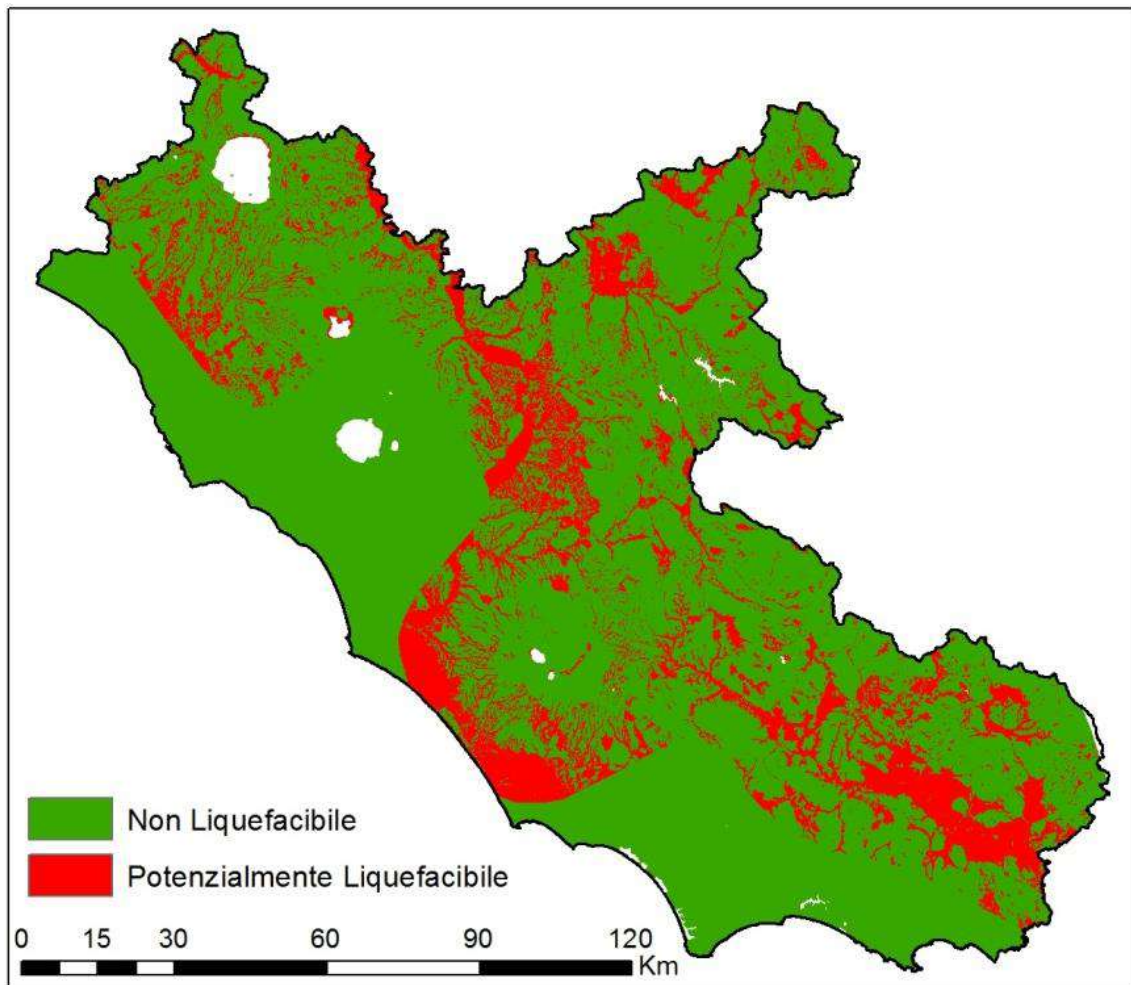


Figura 1: Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni.

3.2 Cartografia delle aree suscettibili alla liquefazione considerando i fattori di amplificazione stratigrafica

Oltre alla mappa di suscettibilità (cfr § 3.1) nella figura 2 è riportato un ulteriore scenario decisamente più conservativo.

Le accelerazioni massime attese (ag), cui si è fatto riferimento per la definizione dello scenario che ha prodotto la mappa di figura 1, sono definite considerando un suolo di categoria A pianeggiante T1 (§ 3.2.2 NTC2018); questa situazione non è chiaramente realistica.

Pertanto, è stata stimata l'accelerazione massima attesa (ag) cercando di tener conto delle condizioni locali sismo-stratigrafiche, simulando le variazioni in termini di ag attesa in funzione della categoria di sottosuolo.

Questo è stato possibile sfruttando il lavoro di Mori et al. 2020 "A new VS30 map for Italy based on the seismic microzonation dataset", che riporta per tutto il territorio italiano una stima del valore di Vs30, da cui è stato

possibile derivare le categorie di sottosuolo ed i relativi coefficienti di amplificazione stratigrafici Ss ed applicarli alla mappa delle massime accelerazioni attese (ag) per un tempo di ritorno pari a 475 anni.

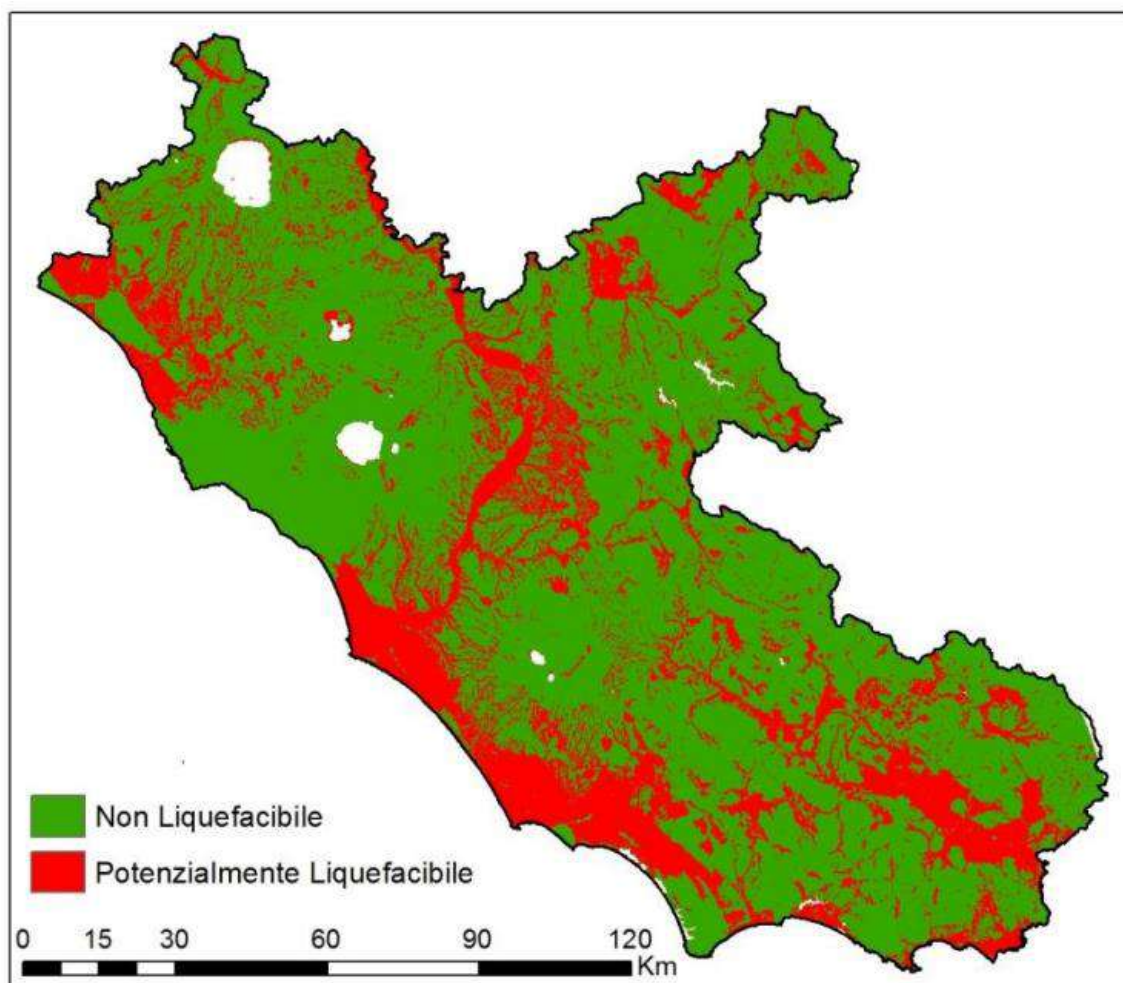


Figura 2: Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni considerando fattori di amplificazione stratigrafica Ss.

3.3 I depositi di Travertino

I depositi di travertino nella nostra regione sono diffusi e affiorano in vaste zone; essi sono caratterizzati, da un punto di vista litologico, da facies molto diverse tra loro che li rendono di difficile classificazione nell'ambito di un processo di elaborazione a scala regionale come quello rappresentato nelle cartografie sopra descritte.

Infatti, è possibile definire almeno due facies ben distinte e molto differenti tra loro:

1. facies con limi, sabbie e ghiaie calcaree;
2. facies costituita da travertini litoidi compatti e ben cementati.

Nell'ambito delle cartografie prodotte in questo progetto, le aree caratterizzate dalla presenza questa litologia sono state classificate con l'attributo "2". Qualora si verifichi la presenza della suddetta unità in facies limo sabbiosa, l'approccio che dovrà essere considerato è quello successivamente indicato nella "casistica 2 e 4".

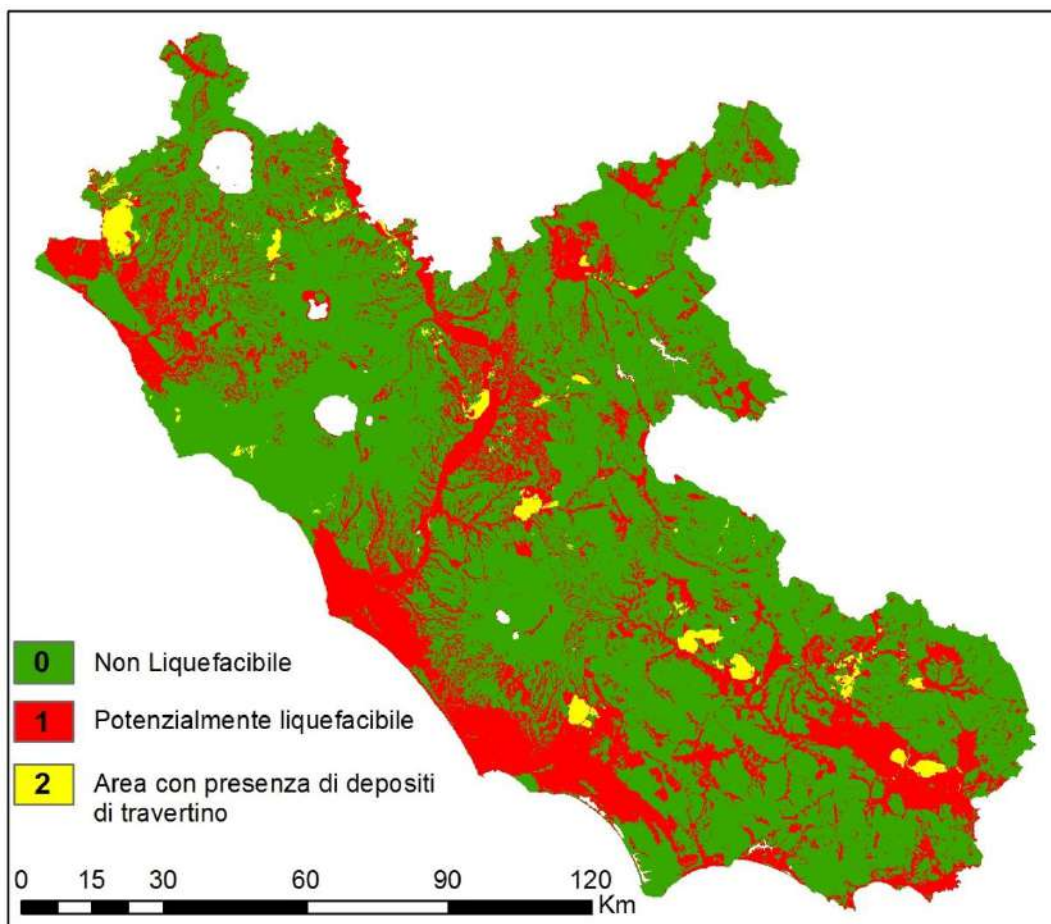


Figura 3: Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni considerando fattori di amplificazione stratigrafica Ss e le aree con presenza di depositi di travertino.

3.4 Mappa dell'indice di congruenza spaziale (ICS)

Le mappe sopra descritte hanno il limite della scala finale (scala $\approx 1:100.000$) dovuta alle mappe generatrici utilizzate. Al fine di mitigare l'entità di questo limite, sono state sviluppate le Mappe dell'Indice di Congruenza Spaziale (ICS). In tali mappe, viene assegnato un indice di ICS a ciascuna cella, il quale rappresenta la percentuale di celle all'interno di una determinata area circostante (con dimensioni specifiche) che condividono lo stesso valore, che sia "0" o "1". Maggiore è l'indice di ICS, minore è la probabilità che l'apparente discrepanza sia il risultato di un errore topologico.

Sono state sviluppate due mappe a copertura dell'intero territorio regionale. In ciascuna mappa, per ogni cella del raster, viene riportato il valore percentuale delle corrispondenze tra la cella di riferimento e i suoi primi vicini, considerando i valori '0' (non liquefacibile) e '1' (potenzialmente liquefacibile). Questi calcoli sono effettuati utilizzando due diverse distanze, consentendo l'analisi su aree di estensione pari a $5*5$ e $9*9$ unità di mappa ($50*50$ metri); rispettivamente pari a 62.500 e 202.500 m². La cartografia descritta è disponibile nel GeoPortale della Regione Lazio (<https://geoportale.regione.lazio.it/>).

4 LE AREE SUSCETTIBILI ALLA LIQUEFAZIONE E LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

In aggiunta alla valutazione locale, in cui le condizioni di sito possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso (Livello 2 di MS disciplinato dalla DGR 155/2020), si dovrà eseguire una valutazione della

potenziale esistenza di condizioni suscettive di liquefazione in presenza di terreni non coerenti. Per tale motivo il contenuto di questo Allegato Tecnico rappresenta un aggiornamento della DGR Lazio n. 545/2010 e DGR Lazio n. 535/2012 e un'estensione dell'applicabilità della DGR Lazio n. 2649/99; infatti gli elaborati indicati in questo allegato dovranno essere presentati in sede di parere di compatibilità geomorfologica in prospettiva sismica congiuntamente alla Carta di Idoneità Territoriale.

Le informazioni stratigrafiche e sismo-stratigrafiche, provenienti dalle indagini obbligatorie per le richieste di pareri ai sensi dell'art. 89 del DPR 380/01 (cfr tabella 5), in caso di presenza di falda sino a 15 metri di profondità, dovranno essere comunque note almeno fino a una profondità massima di 20 metri al fine di eseguire le opportune valutazioni per i terreni saturi.

Si sottolinea che ciascun professionista può eseguire l'analisi della suscettibilità alla liquefazione con altra metodologia, rispetto alle indicazioni delle presenti linee guida, se eseguita con approfondimenti e metodologie di maggiore dettaglio.

4.1 Verifica dell'esistenza di aree suscettibili alla liquefazione

Per le aree oggetto della relazione geologica, nei casi previsti dalla DGR 155/2020 (meglio specificate nel paragrafo 5), si dovrà eseguire la sovrapposizione tra la "Mappa della suscettibilità del territorio della Regione Lazio nei confronti dei fenomeni di liquefazione dei terreni considerando fattori di amplificazione stratigrafica Ss e le aree con presenza di depositi di travertino" (disponibile nel GeoPortale della Regione Lazio (<https://geoportale.regione.lazio.it/>)) e la "Mappa delle MOPS", ottenendo le casistiche riportate in Tabella 1; le combinazioni risultanti dovranno essere gestite secondo le procedure e indicazioni riportate nei paragrafi 4.2 e 4.3

| Casistica | Carta delle MOPS | Cartografia delle aree suscettibili alla liquefazione (paragrafo 3.2) |
|-----------|------------------------------------|---|
| 1 | Studio MS non realizzato/approvato | NON Liquefacibile |
| 2 | Studio MS non realizzato/approvato | Liquefacibile |
| 3 | NON Liquefacibile | NON Liquefacibile |
| 4 | NON Liquefacibile | Liquefacibile |
| 5 | Liquefacibile | NON Liquefacibile |
| 6 | Liquefacibile | Liquefacibile |

Tabella 1: casistiche

4.2 Procedure per l'analisi di suscettibilità alla liquefazione

In base alle differenti casistiche sopra evidenziate si dovranno seguire differenti procedure di analisi, caratterizzate da differenti gradi di approfondimento.

Di seguito si riportano le specifiche per l'utilizzo delle tre differenti procedure di analisi; elencate secondo uno specifico ordine di propedeuticità.

4.2.1 Procedura A:

Questa procedura prevede la possibilità di escludere la necessità di eseguire specifiche analisi qualitative e quantitative per la verifica a liquefazione dei terreni sulla base di valutazioni di giudizio esperto.

Le valutazioni possono derivare da dati disponibili (geologico - stratigrafici e/o idrogeologici e/o morfologici) ed eventualmente basati (anche) su osservazioni di sito. Quindi sulla base delle valutazioni fatte potrebbe essere plausibile escludere la possibilità di liquefazione in modo diretto specificando quale/i tra le seguenti condizioni riportate in tabella 2 non risulta soddisfatta.

Tabella 2: Procedura A

| Condizione | | SI | NO |
|------------|---|----|----|
| 1 | Accelerazioni massime attese in condizioni di campo libero > 0.1g | | |
| 2 | Soggiacenza media stagionale della falda minore di 15 metri | | |
| 3 | Caratteristiche granulometriche dei terreni – orizzonti non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose). Si faccia riferimento in proposito ai fusi di cui al § 7.11.3.4.2 delle NTC 2018. Si specifica che, dato che l'applicazione delle presenti linee guida è finalizzata alla pianificazione territoriale e ai fini della sicurezza, dovrà essere considerata una distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% rispetto al fuso granulometrico di riferimento, basato sul coefficiente di uniformità (in base al coefficiente di uniformità $U_c = 3.5$) ¹ | | |

4.2.2 Procedura B:

Questa procedura deve essere utilizzata quando tutte le condizioni di tabella 2 risultano soddisfatte. La procedura prevede l'utilizzo di analisi numeriche tramite "metodi semplificati" che permettono di calcolare il fattore di sicurezza rispetto alla liquefazione (FSL) e l'indice del potenziale di liquefazione (IPL) di un deposito.

4.2.2.1 Calcolo del FSL

Le analisi numeriche relative ai "metodi semplificati" si basano sul concetto di rapporto tensionale ciclico (CSR - Cyclic Stress Ratio), espressione della forzante sismica, e sul rapporto di resistenza ciclica (CRR - Cyclic Resistance Ratio), espressione della capacità del terreno di resistere alla liquefazione. Il rapporto tra le due variabili, che può essere calcolato a differenti profondità del deposito, costituisce il coefficiente di sicurezza rispetto alla liquefazione (fattore di sicurezza $FSL = CRR/CSR$). Le presenti linee guida indicano un valore di soglia del fattore di sicurezza $FSL_{crit} = 1.25$, per determinare se un deposito è suscettivo alla liquefazione, fatto salvo quanto previsto dal § 7.11.3.4.3 NTC2018.

La definizione di alcuni parametri è indispensabile e comune a tutti i metodi; a prescindere dal metodo che si vuole adottare è necessario disporre delle seguenti informazioni relative al deposito:

- a) Magnitudo del terremoto atteso;
- b) Accelerazione massima attesa – superficie di campagna – condizioni di campo libero;
- c) Profondità della falda;
- d) Spessore dello strato (o strati) e relative quote rispetto al piano campagna;
- e) Pesi di volume γ ;
- f) Valore percentuale della frazione fine (FC).

¹ Riferimenti:

Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento - Delibera Giunta Regionale Emilia-Romagna n. 476 del 12/04/2021 – Allegato A3.

Analisi e studi finalizzati alla verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni nell'area del Mugello – Convenzione stipulata tra Regione Toscana Dir. Ambiente Energia – Settore Sismico Regionale Prevenzione Sismica e L'Università degli Studi di Firenze.

In funzione del metodo che si intende adottare sarà necessario integrare i dati sopra riportati con quelli specificamente richiesti dal metodo stesso.

Sono noti in letteratura scientifica, ed ormai comunemente adottati anche nella prassi, molti "metodi semplificati". Tali metodi differiscono tra loro principalmente per le modalità con cui viene definito *CRR* (caratteristiche del deposito).

La presente linea guida stabilisce che, quando le condizioni litostratigrafiche lo consentono (es: per le indagini penetrometriche la possibilità di raggiungere profondità significative per eseguire analisi successive per il calcolo dei valori di FSL) è necessario adottare due metodi per acquisire i necessari parametri per la caratterizzazione del deposito; i principali metodi utilizzati sono:

1. prove SPT, prove CPT, ecc;
2. prove geofisiche (profilo Vs/Profondità).

Un dato importante da utilizzare nei "metodi semplificati" è il valore della frazione fine (FC); in caso di assenza di questo dato (situazione potenzialmente presente per alcune richieste di pareri ai sensi dell'art. 89 del DPR 380/01 - cfr tabella 5) dovrà essere utilizzata una $FC < 5\%$ a favore della sicurezza.

4.2.2.2 L'indice di probabilità di liquefazione (IPL)

Ottenuti i valori di FSL può essere calcolato l'indice del potenziale di liquefazione IPL che permette di valutare gli effetti della liquefazione lungo la verticale del deposito.

$$IPL = \int_0^z F(z) * W(z) * d(z)$$

Con il calcolo dell'IPL è possibile associare al deposito una classe di pericolosità (tabella 3) così come proposto ad esempio da Sonmez (2003).

Il calcolo dell'IPL, da eseguire lungo la verticale z , dovrà essere discretizzato per intervalli (dz) non superiori a 1 metro.

| IPL | Potenziale di liquefazione |
|--------|----------------------------|
| 0 | Non liquefacibile |
| 0 ÷ 2 | Basso |
| 2 ÷ 5 | Moderato |
| 5 ÷ 15 | Alto |
| ≥ 15 | Molto alto |

Tabella 3: differenti gradi del potenziale di liquefazione

L'indice IPL rappresenta un importante ausilio a supporto delle relazioni geologiche nell'ambito dell'ottenimento del parere ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. n°380/2001. Ad esempio, un valore IPL alto potrebbe indirizzare verso l'interdizione di un'area rispetto alla trasformazione territoriale, facendo virare le scelte progettuali verso altre aree caratterizzate da IPL più basso.

In relazione alla dispersione lungo la verticale dei risultati dei FSL saranno calcolati i valori di IPL (come sopra riportato se le condizioni litostratigrafiche lo consentono con almeno due metodi: geofisica e prove SPT, prove CPT).

Si stabilisce che il valore di soglia dell'IPL (IPL_{crit}), al di sopra del quale è necessario seguire la Procedura C, deve essere maggiore a 0,

Al fine di un controllo sinottico, quando è possibile calcolare l'IPL con almeno 2 metodi, la procedura C dovrà essere eseguita anche se solo uno dei due IPL calcolati è maggiore di 0.

4.2.3 Procedura C

Questa procedura viene adottata quando, dalle analisi condotte con la procedura B, un deposito risulta potenzialmente liquefacibile. Anche questa procedura prevede l'utilizzo di analisi numeriche semplificate come per la procedura B, ma differisce da essa per il dettaglio che portano alla definizione e parametrizzazione geometrica e fisico - meccanica della verticale sottoposta ad analisi. Deve essere prodotto un modello a più alta definizione rispetto a quello ritenuto soddisfacente per un approccio di analisi con la procedura B.

Per quanto riguarda almeno gli strati potenzialmente liquefacibili, devono essere acquisiti mediante prove di laboratorio, previa quindi la realizzazione di sondaggio a carotaggio continuo utile anche ai fini della definizione di dettaglio della stratigrafia, i dati relativi alla granulometria e valutata con precisione la percentuale di materiali fini nelle differenti unità geologico - tecniche individuate (verticalmente sulla colonna soggetta ad analisi). Per le stesse dovrà essere definito in modo analitico il peso di volume (secco - saturo). Qualora possibile, in relazione alla stratigrafia attesa nel sito, si dovrà integrare la caratterizzazione geotecnica del deposito mediante prove CPTU. Sempre nell'ambito della caratterizzazione delle unità geologico - tecniche individuate, è utile determinarne le caratteristiche dinamiche o almeno quei parametri che possano essere usati per associare ad ogni unità geologico - tecnica appropriate curve (di letteratura e/o tramite formule empiriche di decadimento del modulo di taglio e di incremento del modulo di deformazione; indispensabili per effettuare analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). Per la definizione del profilo delle velocità delle onde di taglio V_s devono essere previste indagini geofisiche integrative a quelle previste dalla DGR 535/12 qualora l'affidabilità dei risultati non sia ritenuta soddisfacente.

Un dettagliato profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità, oltre che per l'applicazione diretta di "*metodi semplificati*", permette di eseguire analisi di RSL. Lo sviluppo di una analisi RSL permette di definire in modo più appropriato il parametro relativo alla forzante sismica "accelerazione massima attesa ag ". Si suggerisce quindi, tramite analisi di RSL, di simulare lo scuotimento atteso non al piano campagna bensì alla base dello strato potenzialmente liquefacibile, condizione questa più realistica per la stima del potenziale di liquefazione di un deposito.

Definito il modello stratigrafico e geologico - tecnico è possibile eseguire nuovamente la stima della liquefazione dei terreni con i medesimi metodi descritti per la procedura **B**.

4.2.3.1 Sintesi delle procedure

In definitiva le tre procedure sono state pensate e gerarchizzate con una sempre maggiore risoluzione del modello del sito (fig. 4):

- a) La procedura A si basa principalmente su caratteristiche del deposito definite nel piano (2 dimensioni), fatta salva la stima della profondità della falda (terza dimensione); le informazioni che permettono di definire se un deposito è liquefacibile o meno derivano tutte da informazioni per lo più bi-dimensionali o comunque riferite alle sole caratteristiche dei terreni di superficie (modelli digitali del terreno, carte geologiche, carte dei complessi idrogeologici ecc.). Procedura basata principalmente su dati bibliografici e giudizio esperto.

- b) Per la procedura B viene considerata la geometria del deposito (idealizzato in una verticale o più verticali caratteristiche) nella terza dimensione Z; profondità - spessore e caratteristiche fisico - meccaniche delle unità geologico - tecniche che compongono il deposito. La definizione dei parametri geometrico e fisico meccanici del deposito devono garantire (almeno) l'applicazione di metodi semplificati.
- c) La procedura C infine rappresenta una versione a più alta definizione della procedura B.

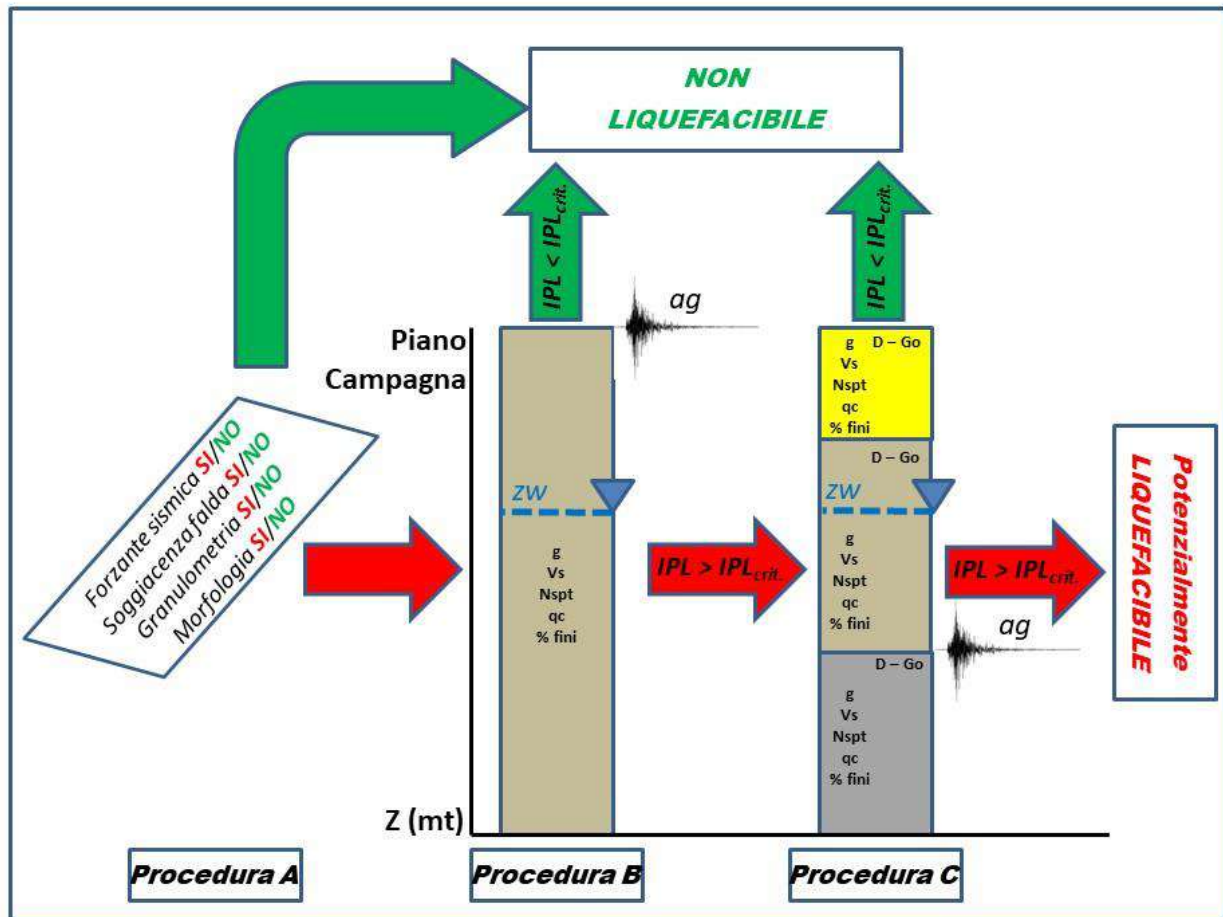


Figura 4: Schema del diagramma dei rapporti tra i differenti metodi di analisi proposti.

4.3 Utilizzo delle procedure

Nelle figure 4, 5 e 6 si riporta il flusso utile per identificare le procedure che dovranno essere attuate in base ai risultati ottenuti a valle delle analisi per la stima della potenziale suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione (procedure A-B-C); l'obiettivo è quello di ottenere un risultato di tipo binario potenzialmente Liquefacibile/NON Liquefacibile ($IPL > 0$ o $IPL = 0$). Nel caso di risultato potenzialmente NON Liquefacibile lo studio può considerarsi concluso, mentre nel caso in cui il risultato sia potenzialmente Liquefacibile l'area può essere classificata non idonea o prescrivere analisi avanzate per le fasi di progettazione esecutiva (N.T.C. 2018 – D.G.R. n°189/2021); le prescrizioni dovranno avere carattere vincolante e l'area sarà considerata come

area idonea con prescrizioni. Le prescrizioni dovranno indirizzare un adeguato piano indagini per le analisi da eseguire per calcolare una stima del potenziale di liquefazione con la procedura C.

Si descrivono di seguito le caratteristiche delle singole casistiche riportate in tabella 1.

4.3.1 Casistica 1 e 3

Per questa casistica non è necessario effettuare analisi di verifica alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni; tuttavia, vista la risoluzione dell'analisi alla scala regionale e valutate le "Mappa dell'indice di congruenza spaziale", dovranno essere confermate le condizioni non predisponenti ai fenomeni di liquefazione dei terreni (tabella 2).

4.3.2 Casistica 2 e 4

Per queste due casistiche è richiesta una prima fase di approfondimento minimale. In base a valutazioni di *giudizio esperto*, comunque fondate su dati disponibili (geologico-stratigrafici e/o idrogeologici e/o geofisici) ed eventualmente anche osservazioni di sito, è possibile escludere la possibilità di liquefazione, anche specificando quale/i tra i livelli informativi che indicano propensione alla liquefazione dei terreni non vengono confermati (**procedura A**). In alternativa, gli stessi dati – ed eventuali dati provenienti da nuove indagini – possono essere utilizzati per valutare la suscettibilità alla liquefazione secondo metodi semplificati (**procedura B**). Nel caso in cui le analisi condotte con la **procedura B** diano esito positivo, si rendono necessari approfondimenti ulteriori con approccio deterministico (**procedura C**).

4.3.3 Casistica 5 e 6

Per queste due casistiche è necessario un primo approfondimento secondo metodi semplificati con approccio deterministico (procedura B) basato su un pacchetto minimo di informazioni sito-specifiche, disponibili o da acquisire tramite indagini integrative. Possono essere escluse le analisi per la verifica a liquefazione esclusivamente con una misura diretta (e continua nel tempo) che dimostri l'assenza di falda entro profondità di almeno 15 metri dal piano campagna.

Nel caso in cui le analisi condotte con la procedura B diano esito positivo, si rendono necessari approfondimenti ulteriori con approccio deterministico (procedura C).

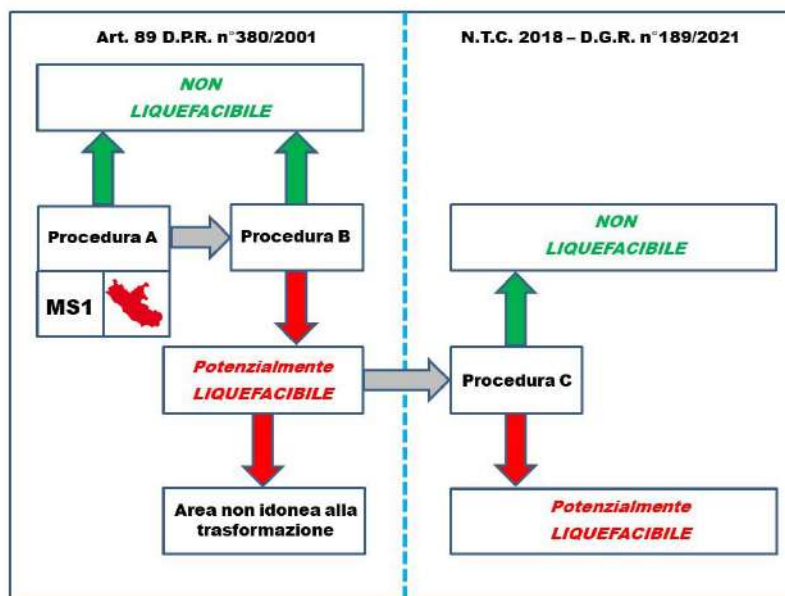


Figura 5: Schema dei rapporti tra le differenti analisi in relazione ai differenti pareri autorizzativi

5 DOCUMENTAZIONE PREVISTA NELL'AMBITO DELLA PREDISPOSIZIONE DEL PARERE AI SENSI DELL'ART.89 DEL DPR 380/01

La verifica dell'esistenza di aree suscettibili alla liquefazione, fermo restando che ciascun professionista può eseguire una analisi della suscettibilità alla liquefazione indipendentemente da quanto riportato nel presente allegato (cfr. paragrafo 4), da eseguire solo dove sono presenti terreni non coerenti, e la eventuale successiva analisi di suscettibilità alla liquefazione, dovrà essere sempre eseguita nell'ambito della richiesta di parere previsti dalla DGR 2649/1999, come riportato in tabella 4, anche per quelle situazioni escluse dagli approfondimenti di Microzonazione Sismica di livello 2 ai sensi della DGR 155/2020.

Nelle situazioni in cui sono previste le indagini per eseguire lo studio di livello 2 (cfr. DGR 535/2012 e DGR 155/2022), come previsto dalla tabella 1 dell'allegato A della DGR 155/2020, si dovranno eseguire anche le analisi granulometriche su campioni provenienti dai sondaggi.

Nelle situazioni in cui non è previsto lo studio di Microzonazione Sismica di livello 2 (cfr tabella 1 dell'allegato A della DGR 155/2020), per l'analisi della suscettibilità alla liquefazione (necessaria in relazione a quanto sopra esposto - cfr paragrafo 4), dovrà essere eseguita sempre una campagna di indagini che preveda la realizzazione di almeno una prova geofisica attiva/passiva (tipo MASW – ESAC/Remi e/o Rifrazione onde Sh ecc) ed almeno una prova penetrometrica tipo CPT o DPSH in modo da rendere applicabile almeno la procedura *B*.

| | | Indagini minime per superfici > 0,5Ha | Indagini minime per superfici < 0,5Ha ma con una superficie di ingombro dell'edificio totale > di 500m ² | Indagini minime per superfici < 0,5Ha |
|---|--|--|---|---|
| Zone stabili suscettibili di amplificazione | Piani attuativi e opere infrastrutturali (tracciati stradali senza opere rilevanti, parcheggi a raso, rotatorie ecc.) con Livello 1 validato | Indagini previste dalla DGR 535/12 e analisi granulometriche | | geofisica attiva/passiva (MASW – ESAC/Remi e/o Rifrazione onde Sh ecc) ed almeno una prova penetrometrica tipo CPT o DPSH |
| Zone suscettibili di instabilità per liquefazione | Piani attuativi e opere infrastrutturali (tracciati stradali senza opere rilevanti, parcheggi a raso, rotatorie ecc.) con Livello 1 validato | | | |
| Livello 1 non validato | Piani attuativi e varianti puntuali e opere infrastrutturali (tracciati stradali senza opere rilevanti, parcheggi a raso, rotatorie ecc.) | | | |

Tabella 4 – Applicazione dello studio di suscettibilità alla liquefazione per tipologie di trasformazioni urbanistiche

Nel caso in cui la **procedura B** indichi terreni potenzialmente liquefacibili, e sia pertanto necessaria l'applicazione della **procedura C**, la stessa:

- può essere omessa qualora si decida di escludere l'area dalla trasformazione urbanistica (**area non idonea**);
- deve essere eseguita classificando l'area come **area idonea con prescrizioni** (cfr Figura 5 e 6).

I documenti e le elaborazioni da presentare nella relazione geologica ad integrazione di quanto previsto nella DGR 2649/99 sono:

- Stralcio delle cartografie riportate nel GeoPortale;

- verifica dell'esistenza di aree suscettibili alla liquefazione (frutto delle combinazioni risultanti dal confronto tra le cartografie sopradette e la cartografia della MS1)
- analisi di suscettibilità alla liquefazione (risultato delle procedure A, B ed eventualmente C) corredata dalle analisi e report delle elaborazioni eseguite.

I risultati dell'intera analisi andranno ad implementare la carta della Pericolosità e Rischio e la Carta della Idoneità Territoriale previste dalla DGR 2649/99.

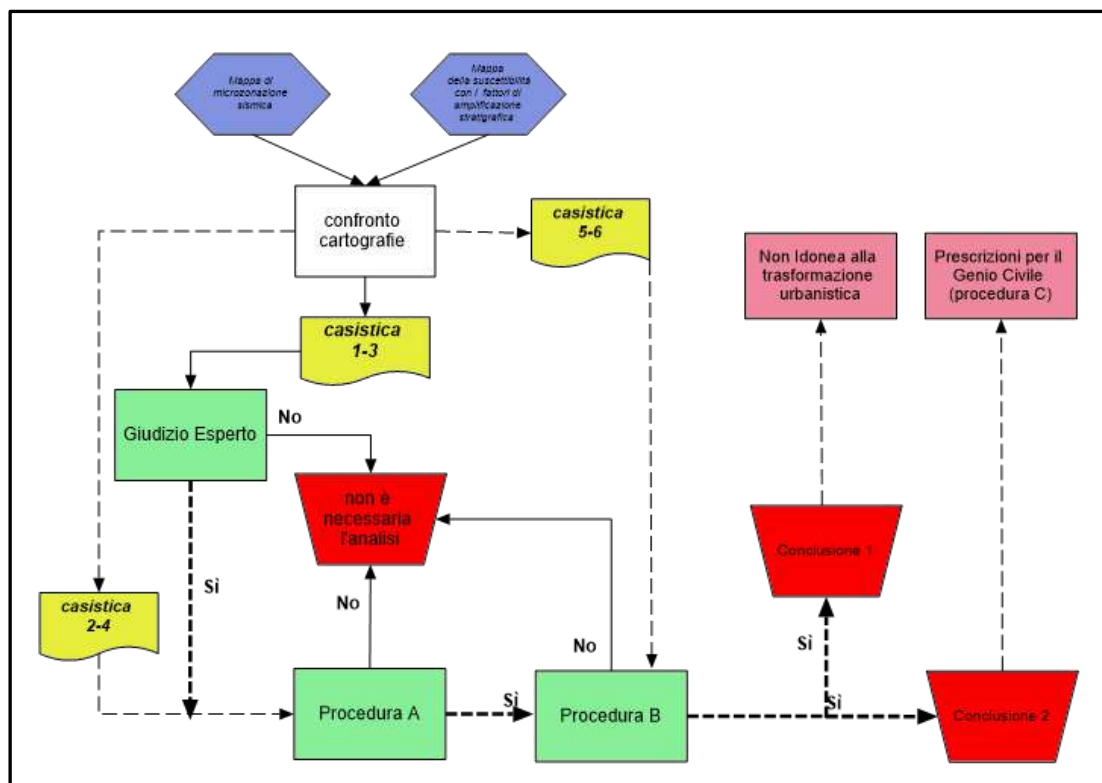


Figura 6: Flusso di lavoro per le richieste di parere ai sensi dell'art 89 del DPR 380/01