

# REGIONE EMILIA-ROMAGNA

## Atti amministrativi

### GIUNTA REGIONALE

**Atto del Dirigente a firma unica:** DETERMINAZIONE n° 1105 del 03/02/2014

**Proposta:** DPG/2014/1391 del 03/02/2014

**Struttura proponente:** SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI  
DIREZIONE GENERALE AMBIENTE E DIFESA DEL SUOLO E DELLA COSTA

**Oggetto:** APPROVAZIONE DI "INDICAZIONI SULLA DOCUMENTAZIONE TECNICA DA PRODURRE A SUPPORTO DELLA RICHIESTA DI CONTRIBUTI PER INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO DI FONDAZIONE IN CASO DI RIPARAZIONE, RIPRISTINO CON MIGLIORAMENTO SISMICO O DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DI EDIFICI DICHIARATI INAGIBILI CHE ABBIANO RIPORTATO DANNI DA LIQUEFAZIONE, A SEGUITO DELLA SEQUENZA SISMICA CHE HA INTERESSATO LA PIANURA EMILIANA NEL MAGGIO-GIUGNO 2012" .

**Autorità emanante:** IL RESPONSABILE - SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI

**Firmatario:** RAFFAELE PIGNONE in qualità di Responsabile di servizio

**Luogo di adozione:** BOLOGNA data: 03/02/2014

## **SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI IL RESPONSABILE**

Premesso che

- gli eventi sismici del 20 e del 29 Maggio 2012 hanno causato vistosi effetti di liquefazione, soprattutto in corrispondenza di canali abbandonati dei fiumi Secchia, Panaro, Reno e Po, in un'area estesa tra il settore occidentale della Provincia di Ferrara e l'attuale corso del fiume Secchia;
- i fenomeni di liquefazione hanno assunto particolare rilevanza nei centri abitati di San Carlo, frazione del Comune di Sant'Agostino, e di Mirabello (provincia di Ferrara), dove gli effetti secondari di post-liquefazione hanno reso temporaneamente inagibili alcuni edifici, tratti di strade e le reti di servizi presenti;
- per la valutazione degli effetti osservati e il superamento dell'emergenza determinata dalla liquefazione a S. Carlo e Mirabello è stato costituito un gruppo di lavoro interdisciplinare (comunicazione del responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, prot. PG/2012/0134978 del 31 maggio 2012);
- il coordinamento del gruppo sopra citato è stato affidato al dott. Raffaele Pignone, responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, e al prof. ing. Mauro Dolce, direttore dell'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile, mentre il coordinamento tecnico è stato affidato al dott. Luca Martelli del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e al dott. Giuseppe Naso dell'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile;

Considerato che questo Servizio ha tra le proprie competenze quelle in materia di gestione del sistema informativo regionale geologico e geotematico e che in particolare realizza le cartografie geologiche e

geotematiche, fra cui quelle relative alla valutazione della pericolosità sismica locale e microzonazione sismica;

Visti:

- i rapporti del gruppo di lavoro sopra citato, consegnati al sindaco di Sant'Agostino nella riunione del 26/6/2012 (prot. PG/2012/1567860 del 26 giugno 2012) e al sindaco di Mirabello nella riunione del 2/8/2012 (prot. PG.2012.0189938 del 2 agosto 2012), nei quali erano, tra l'altro, individuate le aree di San Carlo, frazione del Comune di Sant'Agostino, e di Mirabello in cui sono stati osservati i maggiori effetti di liquefazione e si indicava l'opportunità di individuare tecniche di consolidamento del terreno per la mitigazione del rischio di liquefazione, oggetto di un successivo rapporto;
- il "Rapporto sugli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione" redatto dai geotecnici del citato gruppo di lavoro afferenti al Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Ferrara e al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze, consegnato alla Regione Emilia-Romagna e al Dipartimento di Protezione Civile in data 31 luglio 2012, in cui sono indicate le tecniche di consolidamento del terreno ritenute più opportune, tenendo conto delle locali condizioni stratigrafiche e idrogeologiche, per i centri abitati di San Carlo, frazione di Sant'Agostino, e di Mirabello;
- la deliberazione di Giunta regionale n. 2416 del 29 dicembre 2008 recante "Indirizzi in ordine alle relazioni organizzative e funzionali tra le strutture e sull'esercizio delle funzioni dirigenziali. Adempimenti conseguenti alla delibera 999/2008. Adeguamento e aggiornamento della delibera 450/2007.";
- la determinazione del dirigente n. 12418 del 2 ottobre 2012 che individua le aree di San Carlo, frazione del Comune di Sant'Agostino (Allegato 1), e di Mirabello (Allegati 2 e 3) in cui sono stati osservati gravi effetti di liquefazione e approva le "Indicazioni per gli interventi di consolidamento del terreno di fondazione nelle aree di San Carlo, frazione del Comune di Sant'Agostino (FE), e Mirabello (FE) in cui sono stati osservati gravi effetti di liquefazione" (Allegato 4);
- le "Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici" predisposte

dall'Associazione Geotecnica Italiana su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile e delle Regione Emilia-Romagna;

- le ordinanze del Commissario delegato - Presidente della Regione n. 51/2012 e n. 57/2012, n. 86/2012, e rispettive s.m.i, che prevedono contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione per la ricostruzione di edifici inagibili in aree ad elevato rischio di liquefazione, definiscono le procedure per il riconoscimento di tali contributi e individuano il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale quale struttura tecnica per la valutazione dei progetti di consolidamento per la riduzione del rischio di liquefazione;
- la deliberazione di Giunta regionale n. 1372 del 30 settembre 2013 che istituisce una commissione tecnico-scientifica di supporto al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale per la valutazione tecnica dei progetti di consolidamento del terreno;
- i progetti di consolidamento del terreno per la riduzione del rischio di liquefazione trasmessi al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale e ravvisata la necessità di fornire linee guida per la redazione di tali progetti e la documentazione da produrre a corredo della richiesta di riconoscimento dei contributi per interventi di consolidamento del terreno di cui alle ordinanze del Commissario delegato - Presidente della Regione n. 51/2012 e n. 57/2012, n. 86/2012, e rispettive s.m.i.
- le decisioni assunte in data 28 giugno 2012 nella riunione con gli ordini professionali interessati, in particolare la necessità di fornire ai professionisti incaricati indirizzi per una corretta progettazione degli interventi di consolidamento per la riduzione del rischio di liquefazione nelle aree del territorio regionale colpite dai terremoti di maggio-giugno 2012;
- le "Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012" proposte dal gruppo di esperti di cui alla citata DGR 1372/2013;

Considerato che

- le sopra citate indicazioni proposte dal gruppo di esperti di cui alla DGR 1372/2013 sono state trasmesse agli ordini professionali interessati, in data 7 gennaio 2014 con lettera del Responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli prot. PG.2014.0002057, con richiesta di eventuali osservazioni, suggerimenti e correzioni;
- non essendo pervenute osservazioni e richieste di modifiche;
- essendo necessario e urgente fornire indicazioni per interventi di consolidamento del terreno per la riduzione del rischio di liquefazione allo scopo di favorire la corretta ricostruzione e riparazione degli edifici danneggiati in tempi rapidi;

Richiamata la deliberazione di Giunta regionale n.2416 del 29 dicembre 2008 recante "Indirizzi in ordine alle relazioni organizzative e funzionali tra le strutture e sull'esercizio delle funzioni dirigenziali. Adempimenti conseguenti alla delibera 999/2008. Adeguamento e aggiornamento della delibera 450/2007";

Attestata la regolarità amministrativa;

#### D E T E R M I N A

Per le motivazioni indicate in premessa che qui si intendono integralmente richiamate come parti integranti e sostanziali:

1. di approvare le "Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012" del gruppo di esperti di cui alla DGR 1372/2013, che costituiscono parte integrante e sostanziale della presente determinazione (Allegato 1);
2. di dare immediata diffusione delle suddette indicazioni tramite il sito web della Regione Emilia-Romagna Ambiente, area Geologia, Sismica e Suoli.

Raffaele Pignone

**Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012.**

**I citati contributi sono assegnati dalle Ordinanze del Commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 51/2012 e n. 57/2012, n. 86/2012 e rispettive s.m.i.**

## **1. PREMESSA**

Le scosse principali del 20 e del 29 maggio 2012, rispettivamente di magnitudo locale ( $M_L$ ) 5.9 e 5.8 e magnitudo momento ( $M_W$ ) 6.1 e 6.0, hanno causato effetti di liquefazione, diffusi soprattutto in corrispondenza di canali, sia attuali che abbandonati.

Le indagini effettuate post-sisma indicano che le condizioni predisponenti la liquefazione sono tuttora presenti e pertanto il fenomeno potrebbe ripetersi in occasione di forti terremoti.

Il Commissario delegato - Presidente della Regione ha quindi predisposto, con le ordinanze n. 51/2012, n. 57/2012, n. 86/2012 e le rispettive s.m.i. (<http://www.regione.emilia-romagna.it/terremoto/gli-atti-per-la-ricostruzione>), la possibilità di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione di edifici classificati con esito "E", che abbiano riportato danni da liquefazione.

Gli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione ritenuti più idonei per la riparazione, il ripristino con miglioramento sismico o la demolizione e ricostruzione di edifici ricadenti nelle aree colpite dai terremoti emiliani di maggio-giugno 2012, sono descritti nella Determina del Dirigente del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli n. 12418 del 2 ottobre 2012 (DD 12418/2012, disponibile nel sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>) e nelle "Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici" a cura dell'Associazione Geotecnica Italiana (disponibili nel sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/notizie/notizie-2013/linee-di-indirizzo-per-interventi-su-edifici-industriali-monopiano-colpiti-dal-terremoto-emiliano-2012>).

Tali interventi sono stati ritenuti i più idonei in base alle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche e morfologiche del territorio e alle tipologie edilizie più frequenti.

Le sopra citate Ordinanze del Commissario delegato - Presidente della Regione n. 51/2012, n. 57/2012 e n. 86/2012, e le rispettive s.m.i., prevedono che i contributi per la riparazione, il ripristino con miglioramento sismico o la demolizione e ricostruzione di edifici classificati con esito "E", che presentano danni da liquefazione, possano essere aumentati per interventi di consolidamento del terreno di fondazione, secondo le seguenti modalità:

A) del 15% per edifici ricompresi nelle aree dei centri abitati di San Carlo, frazione di Sant'Agostino (FE), e di Mirabello (FE), come perimetrata nella DD 12418/2012; a tal fine il tecnico incaricato della progettazione deve sottoporre il progetto di consolidamento del terreno di fondazione, redatto in accordo alle indicazioni contenute nell'Allegato 4 della DD 12418/2012, alla preventiva approvazione del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale;

B) fino al 15% nel caso di edifici collocati su terreni interessati da fenomeni di liquefazione ubicati in aree diverse da quelle perimetrata nella DD 12418/2012; a tal fine il tecnico incaricato della progettazione, verificata la presenza di danni da liquefazione, dovrà documentare anche l'elevato rischio di liquefazione mediante le procedure indicate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008 (NTC 2008) e dagli indirizzi regionali per la microzonazione sismica di cui alla Deliberazione di Assemblea Legislativa n. 112/2007 (DAL 112/2007, <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica>), derivate dalla pubblicazione a cura dell'Associazione Geotecnica Italiana "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida" (AGI 2005, <http://www.associazionegeotecnica.it/publicazioni/aspetti-geotecnici-della-progettazione-zona-sismica>); la proposta di incremento del costo convenzionale, corredata dalle relazioni geologica e geotecnica e dal progetto di consolidamento, redatto in accordo alle indicazioni dell'Allegato 4 della DD 12418/2012, deve essere inviata per l'approvazione preventiva al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Si rammenta inoltre che le indagini e i progetti devono essere conformi al DM 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", alla circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del C.S.LL.PP. 'Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" e, per edifici tutelati, alla "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" (DPCM 9 novembre 2011). Utile riferimento è rappresentato inoltre dall'Allegato A all'Ordinanza n. 51/2012 "Istruzioni tecniche per l'esecuzione degli interventi di ripristino con miglioramento sismico di edifici e unità immobiliari ad uso abitativo con esito di agibilità E."

I presenti indirizzi costituiscono riferimento anche per gli interventi di consolidamento da eseguire per opere pubbliche e private nelle aree in cui risulti un elevato rischio di liquefazione, se non già ricompresi nei casi delle Ordinanze sopra citate.

## **2. CARATTERI GENERALI**

Presupposto necessario per il riconoscimento dei contributi in oggetto è la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione, quindi la possibilità di ripetersi del fenomeno. Per il calcolo dell'azione sismica è pertanto necessario effettuare analisi della risposta sismica locale e non è ammesso l'approccio semplificato (cfr punto 3.2.2 delle NTC 2008).

A tal fine è necessario disporre di dati di buona qualità e pertanto si raccomanda l'esecuzione di prove geotecniche e geofisiche di elevata affidabilità quali prove penetrometriche statiche a punta elettrica (CPTe), meglio se con piezocono (CPTU), prove dilatometriche (DMT), sondaggi a carotaggio continuo (CC), analisi di laboratorio statiche e dinamiche su campioni indisturbati (CI) provenienti dai siti d'interesse, misure dirette della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio e compressione,  $V_s$  e

Vp, mediante prove penetrometriche statiche o dilatometriche con modulo sismico (SCPTE, SCPTU, SDMT) o prove sismiche in foro di sondaggio in configurazione down-hole o cross-hole (DH, CH).

Le indicazioni delle aree in cui sono presenti terreni suscettibili di liquefazione, negli ambiti di interesse urbanistico, sono contenute nelle carte di microzonazione sismica, disponibili presso le Amministrazioni Comunali. Le mappe di microzonazione sismica realizzate per i Comuni emiliani più danneggiati dai terremoti di maggio-giugno 2012 (v. Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012) sono disponibili nel sito web <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>.

Gli elaborati di microzonazione sismica forniscono anche utili indicazioni in termini di indagini disponibili e programmazione di nuove indagini, modello geologico, ordine di grandezza dell'amplificazione attesa, potenziale di liquefazione, ecc. In accordo alla DGR 1373/2011 attuativa della LR 19/2008 il progettista deve tenere nella dovuta considerazione le indicazioni e prescrizioni dei documenti di pianificazione urbanistica.

### **3. INDAGINI PER LA DEFINIZIONE DEI MODELLI GEOLOGICO, GEOFISICO E GEOTECNICO**

**Interventi Tipo A: relativi a edifici ricompresi nelle aree dei centri abitati di San Carlo, frazione di Sant'Agostino (FE), e di Mirabello (FE), come perimetrata nella DD 12418/2012**

**Interventi Tipo B: relativi a edifici ubicati in aree interessate da fenomeni di liquefazione diverse da quelle perimetrata nella DD 12418/2012**

#### **3.1. Profilo stratigrafico fino a 30 m - Tipo A e B**

Per la ricostruzione dettagliata del profilo stratigrafico di un volume di terreno significativo comunque non inferiore a 30 m dal piano campagna si ritengono necessarie le seguenti prove:

- a) Prove in sito del tipo CPT, CPTE, CPTU, DMT, sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati; il numero di prove dovrà essere commisurato all'estensione del fabbricato al fine di definire eventuali variazioni lito-stratigrafiche laterali; nel caso di esecuzione di prove penetrometriche si raccomanda l'esecuzione di prove a punta elettrica.
- b) profondità della falda misurata in foro di sondaggio in condizioni stazionarie con freatimetro o mediante prove di dissipazione con piezocono (CPTU) nei livelli più grossolani; inoltre, se possibile, quella minima e media ricostruita sulla base di informazioni disponibili.
- c) Prove di laboratorio di caratterizzazione per la definizione delle curve granulometriche, delle proprietà indici e del peso dell'unità di volume.

#### **3.2. Analisi di risposta sismica locale (RSL) - Tipo B**

Per le analisi di RSL occorre disporre di:

- a) Profilo stratigrafico, almeno fino a 30 m di profondità dal piano campagna, definito secondo le indicazioni di cui al punto 3.1.
- b) Profilo stratigrafico profondo (> 30 m) dedotto da sondaggi e/o sezioni geologiche disponibili in letteratura o appositamente realizzate.
- c) Profilo di Vs misurato almeno fino a 30 m tramite misura diretta di tipo SCPTe, SCPTU, SDMT, DH o CH; per opere ordinarie (classe d'uso 1 e 2) è ammessa la definizione di Vs tramite prova SASW/MASW purché associata e vincolata al profilo stratigrafico ottenuto con prove di cui al punto 3.1. Non sono ritenuti idonei profili di Vs ottenuti tramite processi di inversione di risultati di prove di sismica passiva a stazione singola.
- d) Profilo di Vs stimato per profondità maggiori di 30 m fino al bedrock sismico; possono essere utilizzati, oltre a misure dirette, i risultati di misure di sismica passiva tramite antenna sismica.
- e) Stima della profondità del bedrock sismico a profondità maggiori di 50 m o superfici di contrasto di impedenza assimilabili a bedrock sismico, ottenuta da:
  - interpretazione di sezioni geologiche (da letteratura se disponibili o appositamente realizzate);
  - frequenza fondamentale del sito, definita con non meno di 2 registrazioni di sismica passiva a stazione singola (HVSr) di almeno 20' l'una;
  - misure di sismica passiva con antenna sismica.
- f) Curve di variazione del modulo di rigidità a taglio (G) e del fattore di smorzamento (D) con la deformazione a taglio ( $\gamma$ ) mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati di colonna risonante (RC) o di taglio torsionale ciclico (CTS). In assenza di campioni indisturbati di terreni granulari (sabbie), si potrà ricorrere a campioni ricostruiti e consolidati allo stesso indice dei vuoti e stato tensionale del sito, verificato mediante la misura delle Vs in cella. Per la ricostruzione occorrerà determinare l'indice dei vuoti minimo e massimo (ASTM D4253 e D4254 maximum and minimum density tests).

### 3.3. Verifica della suscettibilità a liquefazione – Tipo B

Nella letteratura scientifica sono stati descritti vari metodi che, per la stima del rischio di liquefazione, utilizzano le prove penetrometriche statiche. I metodi più noti sono stati confrontati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012. Da tale confronto è risultato che il metodo che fornisce valori dell'Indice di liquefazione  $I_L$  (Iwasaki, 1978), meglio compatibili con gli effetti osservati è quello di Idriss & Boulanger (2008); tale metodo è stato perciò assunto come riferimento per la redazione delle mappe del rischio di liquefazione di cui all'Ordinanza n. 70/2012. Le verifiche del rischio di liquefazione per tale microzonazione sismica sono state effettuate considerando il valore di PGA risultante dagli studi di microzonazione sismica o di risposta sismica locale, una magnitudo di 6,14 (pari alla magnitudo momento massima attesa,  $M_{wmax}$ , per la zona 912, vedi zonazione sismogenetica ZS9, come indicato in ICMS, 2008) e una falda a profondità variabile tra 1 e 3 m a seconda che il sito ricada rispettivamente in area di piana intercanale o di dosso.

Si raccomanda di basare la stima dell'indice di liquefazione su interpretazione di dati di prove penetrometriche statiche a punta elettrica (CPTE) o con piezocono (CPTU) su cui

sono basati i metodi di analisi disponibili in letteratura (AGI 2005, Allegato 3 della DAL 112/2007 e dalle NTC 2008).

Per le verifiche si suggerisce di utilizzare i seguenti parametri:

- a) profondità della falda più superficiale tra quella misurata al momento delle prove di cui al punto 3.1 e quella minima desumibile da dati disponibili;
- b) accelerazione massima al sito più cautelativa tra quella ottenuta con analisi di RSL e quella derivante da studi di MS disponibili;
- c) magnitudo momento massima attesa da zonazione sismogenetica.

In alternativa ai succitati metodi semplificati è possibile valutare la resistenza ciclica dei terreni (CRR) mediante prove triassiali cicliche non drenate (CTX) o prove di taglio semplice cicliche non drenate (CSS) con la misura della sovrappressione interstiziale, su campioni indisturbati o ricostruiti allo stesso indice dei vuoti e stato tensionale del sito. La ricostruzione si può considerare rappresentativa se il campione ricostruito avrà un valore di Vs simile a quella di sito allo stesso stato tensionale efficace. In questo caso la verifica a liquefazione potrà essere condotta con metodi diretti.

#### TABELLA RIASSUNTIVA INDAGINI PER LA DEFINIZIONE DEI MODELLI GEOLOGICO, GEOFISICO E GEOTECNICO

scopo	prove in sito	prove di laboratorio	altro	tipo
<b>3.1 Profilo stratigrafico almeno fino a 30 m e profondità della falda</b>	CPT, CPTE, CPTU, DMT, CC con CI Misura freaticometrica e/o prova di dissipazione	Granulometrie Proprietà indici, peso di volume		A e B
<b>3.2 Risposta Sismica Locale</b>				B
Profilo stratigrafico almeno fino ai primi 30 m	CPT, CPTE, CPTU, DMT, CC con CI	Granulometrie Proprietà indici, peso di volume		
Profilo stratigrafico profondo (>30m)	Sondaggi CC		Sezioni geologiche	
Profilo di Vs misurato almeno fino a 30 m	SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH, SASW/MASW			
Profilo di Vs profondo (>30m)	Sismica passiva di superficie (antenna sismica), DH, CH			
Profondità bedrock sismico se H>30 m	HVSR da registrazioni di sismica passiva di superficie, almeno 2 di 20' ciascuna; CC con DH o CH		Sezioni geologiche	
Curve di variazione di G e D con $\gamma$		RC e CTS		
<b>3.3 Verifica a liquefazione</b>	CPTE, CPTU, DMT Misura freaticometrica e/o prova di dissipazione	Eventuale prove CTX, CSS		B

#### 4. INDAGINI FINALIZZATE ALLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

Di seguito una sintesi non esaustiva delle principali indagini in sito e di laboratorio ritenute indispensabili per la progettazione dell'intervento.

**TABELLA RIASSUNTIVA INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE INTERVENTI**

SCOPO	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE	
		in sito	laboratorio
Iniezioni di permeazione	Permeabilità, K	Misure K in foro	
	Profilo di rigidezza pre e post intervento	Misure dirette di Vs (SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH)	
	Profilo di resistenza ciclica pre e post intervento		CTX, CSS su campioni indisturbati o ricostruiti
Compaction Grouting	Profilo di rigidezza pre e post intervento (a metà interasse)	Misure dirette di Vs (SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH)	
	Profilo di resistenza pre e post - intervento (a metà interasse)		CTX, CSS
Induced Partial Saturation (IPS)	Grado di saturazione pre e post - intervento	Misure dirette velocità onde di compressione, Vp (SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH)	CTX, CSS su campioni saturi e parzialmente saturi indisturbati o ricostruiti
Dreni verticali e sub-verticali	Compressibilità		Prova edometrica (EDO) campioni indisturbati e/o ricostruiti
	Conducibilità idraulica	Misure K in foro	
Sottofondazioni o nuove fondazioni	Profilo di resistenza	CPTE, CPTU, DMT, CC	Prove triassiali monotone con rottura non drenata TxCU, o drenata TxCD su campioni indisturbati
	Profilo di rigidezza	Misure dirette di Vs (SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH)	EDO su campioni indisturbati
Displacement columns	Profilo di resistenza pre e post intervento (a metà interasse)	CPTE, CPTU, DMT, CC	TxCU, TxCD su campioni indisturbati
	Profilo di rigidezza pre e post intervento (a metà interasse)	Misure dirette di Vs (SCPTE, SCPTU SDMT, DH, CH)	

## **5. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO DELL'INTERVENTO**

Per gli interventi finalizzati alla mitigazione del rischio di liquefazione, al rinforzo/consolidamento del sistema fondale di edifici esistenti, oppure alla realizzazione di nuove fondazioni conseguente a interventi di demolizione e ricostruzione, si rimanda a quanto descritto nel punto 6 dell'Allegato 4 della DD 12418/2012 e, per gli edifici industriali, nel Rapporto AGI 2012 "Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici".

Nella relazione di progetto deve essere chiaramente indicato e sviluppato analiticamente il calcolo per il dimensionamento dell'intervento; il lettore deve avere la possibilità di ripercorrere i calcoli effettuati ed ottenere gli stessi risultati (i tabulati prodotti da software di calcolo non sono considerati esaustivi ai fini della descrizione dei criteri di progettazione adottati). Occorre fornire i dettagli delle verifiche numeriche del sistema fondale che tengano conto sia delle sollecitazioni dovute alla combinazione sismica (§2.5.3 delle NTC 2008) relativa all'intero fabbricato (sistema fondale e sovrastruttura), sia delle sollecitazioni correlate alle specifiche condizioni di sito, con particolare riferimento agli strati di terreno rilevanti per il rischio di liquefazione.

È necessario riportare tutti i certificati di prova delle indagini condotte da laboratori certificati, in accordo alla NTC 2008.

Di seguito una sintesi delle indicazioni progettuali che è necessario presentare.

### **5.1 Definizione del Profilo stratigrafico – Tipo A e B**

Si raccomanda di riportare i profili e le sezioni litostratigrafiche che hanno concorso alla definizione dei modelli geologico, geofisico e geotecnico, la motivazione delle scelte effettuate, una stima dell'affidabilità dei risultati delle prove eseguite.

### **5.2. Risposta sismica locale – Tipo B**

Si raccomanda anche di motivare le scelte del modello stratigrafico profondo, riportando tutte le informazioni che hanno concorso alla sua definizione.

Motivare anche le scelte degli accelerogrammi di input elencando le principali caratteristiche sismologiche degli stessi.

### **5.3 Verifica a Liquefazione – Tipo B**

Si raccomanda di descrivere in dettaglio il metodo adottato per il calcolo della sollecitazione ciclica CSR e della resistenza ciclica CRR; la scelta di tutti i parametri di input (magnitudo, accelerazione, profondità della falda, ecc) deve essere motivata.

### **5.4 Progettazione interventi di mitigazione del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione di edifici esistenti – Tipo A e B**

Si aggiunge che sia per i metodi attivi che passivi occorrerà far seguire al dimensionamento analitico, con opportuni metodi di calcolo, una verifica in campo che dimostri che il sistema dimensionato provoca un effettivo aumento del fattore di sicurezza.

Nel caso di realizzazione di campi prova l'efficacia del trattamento può essere verificata mediante le indagini pre e post-intervento elencate al punto 4.

La relazione di progetto dovrà descrivere nel dettaglio le scelte eseguite, i metodi di calcolo adottati e riportare eventualmente gli esiti del campo prova realizzato per tarare l'intervento.

#### 5.4.1. Trattamenti di cementazione grani

Per il dimensionamento di trattamenti di cementazione mediante permeazione di miscele leganti occorre riportare il dettaglio della metodologia adottata, in particolare parametri quali la viscosità della soluzione o sospensione iniettata, i volumi iniettati, il metodo di iniezione (a pressione o a gravità). Questi dovranno essere dimensionati in funzione delle:

- ✓ Conoscenze lito-stratigrafiche, proprietà meccaniche ed idrauliche dei terreni
- ✓ Azioni sismiche [numero cicli equivalenti,  $N_{eq}$  e durata  $t_d$ ]
- ✓ Resistenza ciclica del terreno non trattato
- ✓ Resistenza ciclica del terreno trattato.

#### 5.4.2. Compaction grouting

Per il dimensionamento del compaction grouting si dovrà individuare la profondità dello strato da trattare, il grado di addensamento attuale e il grado di addensamento da raggiungere per ottenere il voluto effetto in termini di incremento della resistenza ciclica. Occorre riportare il dettaglio della metodologia adottata, in particolare parametri quali la viscosità e la consistenza della miscela, i volumi di miscela iniettata, la pressione di iniezione.

In caso di edifici esistenti è necessario prevedere un monitoraggio continuo degli spostamenti indotti sul fabbricato da consolidare e su quelli adiacenti.

#### 5.4.3. Induced Partial Saturation

Nel caso il progetto preveda la realizzazione di trattamenti di desaturazione, occorre riportare il dettaglio della metodologia adottata. L'intervento dovrà essere dimensionato in funzione delle:

- ✓ Conoscenze lito-stratigrafiche, proprietà meccaniche ed idrauliche dei terreni
- ✓ Azioni sismiche [numero cicli equivalenti,  $N_{eq}$  e durata  $t_d$ ]
- ✓ Generazione di  $\Delta u$  [ $R_u = \Delta u / \sigma'_0 = f(N_{eq} / N_{liq})$ ] in terreni non saturi

#### 5.4.4. Dreni verticali e sub verticali

Il dimensionamento dei dreni o pozzi drenanti, dovrà essere ottenuto in funzione delle:

- ✓ Conoscenze lito-stratigrafiche, proprietà meccaniche ed idrauliche dei terreni
- ✓ Tipologia e geometria dei dreni
- ✓ Granulometria del filtro rispetto al terreno naturale e capacità di drenaggio
- ✓ Condizioni al contorno [«serbatoio equivalente», spaziatura, condizioni di drenaggio, zona di raccolta acqua rispetto livello della falda]
- ✓ Compressibilità e conducibilità del terreno [ $m_v = f(R_u, \text{parametri di stato}), K$ ]
- ✓ Azioni sismiche [numero cicli equivalenti,  $N_{eq}$  e durata  $t_d$ ]

- ✓ Generazione di  $\Delta u$  [ $R_u = \Delta u / \sigma'_0 = f(N_{eq} / N_{liq})$ ]

### **5.5 Progettazione interventi finalizzati al rinforzo/consolidamento del sistema fondale di edifici esistenti, oppure alla realizzazione di nuove fondazioni per interventi di demolizione e ricostruzione – Tipo A e B**

Qualsiasi intervento di sottofondazione dovrà essere dimensionato in funzione delle conoscenze lito-stratigrafiche e delle proprietà meccaniche ed idrauliche dei terreni interessati da una significativa variazione del livello tensionale indotto dalla fondazione (volume significativo).

Nel caso l'intervento preveda la realizzazione di **fondazioni profonde** (per semplicità, genericamente qui chiamate pali) per il dimensionamento delle stesse occorrerà:

- ✓ Definire la metodologia di installazione dei pali in funzione della quale valutare le caratteristiche di connessione palo/terreno e quindi la resistenza del palo singolo, sia nei confronti delle azioni verticali che di quelle orizzontali;
- ✓ Valutare correttamente gli effetti dell'interazione terreno/struttura; ovvero individuare il cinematismo del sistema terreno – fondazione – palo ed i suoi effetti sulla struttura in elevazione;
- ✓ Verificare le condizioni di vincolo alla testa dell'elemento rigido verticale (es. palo) con la fondazione (es. platea);
- ✓ Considerare gli effetti della perdita di resistenza del terreno soggetto a liquefazione e delle sollecitazioni indotte nella struttura profonda;
- ✓ Nella verifica di resistenza a carico laterale con metodi pseudo-statici, valutare correttamente la resistenza del terreno mobilitabile dalla parte di palo immerso al di sotto dello stato liquefacibile (parziale resistenza passiva);
- ✓ Considerare i cedimenti di post – liquefazione sia dello strato granulare liquefacibile che degli strati più fini i quali subiscono la temporanea riduzione delle tensioni efficaci per effetto della variazione della tensione neutra ( $\Delta u$ );
- ✓ Considerare i meccanismi di interazione tra pali (pali in gruppo) sia in termini di resistenza che rigidità (cedimenti);
- ✓ Considerare eventuali meccanismi di interazione platea-pali nel caso di platea collaborante (fondazione mista) sia in termini di resistenza che rigidità (cedimenti).

Per gli **interventi di sottofondazione** si raccomanda di seguire le indicazioni generali riportate nell'Allegato 4 della DD 12418/2012 e, per gli edifici industriali, nel Rapporto AGI 2012 “Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici”.

L'intervento di sottofondazione dovrà riguardare l'intero sistema fondale del fabbricato, e per tale motivo dovrà essere verificata la effettiva fattibilità dell'intervento in termini di accessibilità dei macchinari all'interno dell'edificio. Si sconsigliano in ogni caso interventi di sottofondazione che interessano una sola parte dell'edificio.

La relazione dovrà indicare nel dettaglio il metodo di collegamento e solidarizzazione della fondazione esistente alla sottofondazione e fornire una verifica del nodo palo-fondazione,

il quale dovrà essere in grado di trasferire correttamente i carichi in fondazione dalla struttura esistente a quella in progetto.

Nel caso di sottofondazioni nelle quali sia previsto l'uso di micropali valvolati, particolare attenzione dovrà essere rivolta al controllo delle pressioni di iniezione delle valvole, onde evitare il fenomeno del “*claquage*”, in special modo per le valvole più vicine alla fondazione esistente, al fine di minimizzare i rischi di perdita di miscela, e la conseguente possibilità di formazione di indesiderati effetti “martinetto”.

In caso di interventi in campo libero in adiacenza a strutture esistenti che prevedano la realizzazione di colonne a spiazzamento del terreno di fondazione (le tecniche consolidate sono quelle di *displacement columns*, in particolare la tecnica di “*save composer*” che non trasmette vibrazioni significative agli edifici adiacenti) il progetto dovrà contenere tutti i parametri specifici del sistema scelto.

### ***Bibliografia***

Idriss I.M. & Boulanger R.W. (2008): Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp

ICMS (2008): Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica. A cura del Gruppo di lavoro MS. Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e Province autonome. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137)

Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokia K.i. & Yasuda S. (1978): A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Microzonation, San Francisco, 885896.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
Atti amministrativi

GIUNTA REGIONALE

Raffaele Pignone, Responsabile del SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI esprime, contestualmente all'adozione, ai sensi della deliberazione della Giunta Regionale n. 2416/2008, parere di regolarità amministrativa in merito all'atto con numero di proposta DPG/2014/1391

IN FEDE

Raffaele Pignone