

## *Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna*

### *68^ seduta della VIII Legislatura*

Estratto dal resoconto integrale della seduta pomeridiana del 2 maggio 2007.

Presiede la presidente dell'Assemblea legislativa Monica Donini, indi il vicepresidente Paolo Zanca.

Segretari: Enrico Aimi e Matteo Richetti.

\* \* \* \* \*

Hanno partecipato alla seduta i consiglieri:

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 1) AIMI Enrico           | 23) MASELLA Leonardo      |
| 2) BARBIERI Marco        | 24) MAZZA Ugo             |
| 3) BARTOLINI Luca        | 25) MAZZOTTI Mario        |
| 4) BERETTA Nino          | 26) MEZZETTI Massimo      |
| 5) BORGHI Gianluca       | 27) MONACO Carlo          |
| 6) CARONNA Salvatore     | 28) MUZZARELLI Gian Carlo |
| 7) CORRADI Roberto       | 29) NANNI Paolo           |
| 8) DELBONO Flavio        | 30) NERVEGNA Antonio      |
| 9) DELCHIAPPO Renato     | 31) NOE' Silvia           |
| 10) DONINI Monica        | 32) PARMA Maurizio        |
| 11) DRAGOTTO Giorgio     | 33) PIRONI Massimo        |
| 12) ERCOLINI Gabriella   | 34) PIVA Roberto          |
| 13) ERRANI Vasco         | 35) RENZI Gioenzo         |
| 14) FIAMMENGHI Valdimiro | 36) RICHETTI Matteo       |
| 15) FILIPPI Fabio        | 37) RIVI Gian Luca        |
| 16) GARBI Roberto        | 38) SALOMONI Ubaldo       |
| 17) GUERRA Daniela       | 39) SALSÌ Laura           |
| 18) LEONI Andrea         | 40) TAGLIANI Tiziano      |
| 19) LOMBARDI Marco       | 41) VARANI Gianni         |
| 20) LUCCHI Paolo         | 42) VECCHI Alberto        |
| 21) MANCA Daniele        | 43) ZANCA Paolo           |
| 22) MANFREDINI Mauro     | 44) ZOFFOLI Damiano       |

Hanno comunicato di non poter partecipare alla seduta i consiglieri Bortolazzi, Montanari, l'assessore Peri, il vicepresidente Villani.

Sono, inoltre, assenti i consiglieri Francesconi e Monari.

---

**Oggetto n. 2131:** Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". (Proposta della Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n. 1)

Progr. n. 112

Oggetto n. 2131: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".  
(Proposta della Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n. 1)

---

Prot. n. 8511

#### L'Assemblea legislativa

Richiamata la deliberazione della Giunta regionale progr. n. 1 del 10 gennaio 2007, recante ad oggetto ""Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000, in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Proposta all'Assemblea legislativa"";

Visto il favorevole parere espresso al riguardo dalla commissione referente "Territorio Ambiente Mobilità" di questa Assemblea legislativa, giusta nota prot. n. 6768 del 4 aprile 2007;

Preso atto delle modificazioni apportate sulla predetta proposta con emendamenti presentati ed accolti nel corso della discussione assembleare;

#### Visti:

- l'art. 20, comma 2, della L. 741/1981 "Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche" che prevede che le regioni emanino norme per l'adeguamento degli strumenti urbanistici generali e particolareggiati vigenti, nonché sui criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico;
- l'art. 6, comma. 2 lett. e), della LR 35/1984 e s. m. i., che demanda al Consiglio regionale il compito di adottare indirizzi vincolanti per la formazione dei piani territoriali e urbanistici relativi ai Comuni dichiarati sismici, al fine di farli corrispondere alle esigenze di riduzione del rischio sismico;

- l'art. 10, comma 1, della LR 35/1984 e s. m. i, che stabilisce che, i Comuni classificati sismici, nella formazione degli strumenti urbanistici sono tenuti a valutare la compatibilità delle previsioni con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico;
- l'art. A-2, comma 4, dell'allegato alla LR 20/2000, che, nei territorio regionali individuati come zone sismiche, stabilisce che gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione e alla prevenzione del rischio sismico, sulla base di analisi di pericolosità, di vulnerabilità ed esposizione;
- l'art. 5 della LR 20/2000, che richiede, nell'ambito delle procedure di approvazione dei piani territoriali e urbanistici, una valutazione preventiva della sostenibilità ambientale e territoriale degli effetti derivanti dall'attuazione dei piani medesimi;
- il D.M. 14 settembre 2005, (pubblicato sul suppl. ord. N. 159 alla G. U. n. 222 del 23 settembre 2005) che stabilisce che le indagini geotecniche per la definizione delle azioni sismiche siano predisposte dal progettista in presenza di un quadro geologico e di pericolosità adeguatamente definito, con particolare riguardo agli elementi stratigrafici e morfologici che influenzano la propagazione delle onde sismiche, all'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità quiescenti o attivi e ai principali caratteri idrogeologici;

Visto inoltre:

- il punto B.4 della circolare n. 1288 del 11/2/1983 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre a corredo dei piani urbanistici comunali" che prevede approfondimenti nei comuni classificati sismici con particolare riferimento alle caratteristiche litologiche e geomorfologiche dei terreni di fondazione in relazione al loro possibile comportamento dinamico in presenza di sollecitazioni sismiche;
- il punto D.3 della circolare n. 1288 del 11/2/1983 che prevede, sulla base di una valutazione della vulnerabilità sismica del territorio, la definizione di zone territoriali omogenee dove costruire con minore rischio, dove potrà essere opportuno adottare coefficienti di fondazione maggiorati nel rispetto della normativa vigente e dove non costruire affatto;
- l'art. 37 della L.R. 31/2002 "Disciplina generale dell'edilizia" e s. m. i. che indica che nelle zone sismiche il parere di compatibilità degli strumenti di pianificazione riguarda le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio";
- il punto 9.3 della circolare n. 6515 del 21/3/2003, sull'applicazione di alcune disposizioni della LR 31/2002 "Disciplina generale dell'edilizia", che chiarisce che le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio" sono tutti gli aspetti fisici del territorio che influiscono sulla pericolosità locale, quali le

caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e idrogeologiche che possono determinare instabilità dei versanti, effetti di amplificazione del moto sismico, addensamento e liquefazione;

- il punto 6. della deliberazione della Giunta Regionale n. 1677 del 24/10/2005 "Indirizzi applicativi in merito al D.M. 14 settembre 2005 (pubblicato sul suppl. ord. N. 159 alla G. U. n. 222 del 23 settembre 2005) recante Norme Tecniche per le Costruzioni" che fornisce indicazioni sui contenuti e le modalità di approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, in particolare sulle analisi di pericolosità a supporto dei piani (punto 6.1) e sui pareri preventivi sui piani (punto 6.2);

Rilevato quindi, che, dall'esame della normativa fin qui richiamata, emerge un preciso obbligo, per le Amministrazioni Provinciali e Comunali, all'adeguamento della propria strumentazione territoriale e urbanistica al fine di ridurre il rischio sismico;

Considerato che, al fine di adempiere agli obblighi delle "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 16.1.1996 e D.M. 14.9.2005), occorre fornire ai geologi e ai progettisti un quadro di riferimento della realtà geologico-morfologica del territorio e della sua pericolosità sismica locale adeguatamente definiti, che consenta di predisporre programmi di indagini geologiche e geotecniche e analisi della risposta sismica locale a scala di manufatto più mirati ed anche economicamente più adeguati al tipo di effetti locali attesi nell'area di interesse;

Considerato altresì che:

- il parere n. 35 del Consiglio Superiore dei LL. PP., reso nella seduta del 30 marzo 2005, sulle suddette "Norme tecniche per le costruzioni" auspica che gli Enti Territoriali avviino specifici studi per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica;
- il parere n. 66 del Consiglio Superiore dei LL.PP., reso nella seduta del 21 luglio 2006, sulle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" al punto 1.2 "Contenuti delle Linee Guida", indica che l'azione sismica di riferimento deve essere valutata beneficiando degli studi già disponibili che definiscono la pericolosità sismica del territorio italiano ed effettuando, eventualmente, approfondimenti sulle caratteristiche locali del sito (microzonazione);

Ritenuto pertanto che appare opportuno:

- che gli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica assolvano al loro compito di riduzione del rischio sismico, svolgendo specifici studi diretti alla valutazione della risposta sismica locale nel territorio e alla sua microzonazione sismica;

- emanare un atto di indirizzo, al fine di indirizzare l'attività pianificatoria degli Enti locali, per definire in modo omogeneo le modalità di svolgimento delle analisi dirette alla valutazione della risposta sismica locale e i criteri per attuare la microzonazione sismica del territorio regionale;

Constatato che l'art. 16 della L.R. 24 marzo 2000, n. 20, "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" prevede:

- al comma 1, che la Regione al fine di assicurare lo sviluppo coordinato ed omogeneo delle attività di pianificazione territoriale e urbanistica, adotta atti di indirizzo e coordinamento delle funzioni pianificatorie delle Province e dei Comuni, nonché atti di coordinamento tecnico, direttive relative all'esercizio delle funzioni delegate;
- al comma 2, lettera b), che la Regione, con gli atti di coordinamento tecnico, specifichi tra l'altro i contenuti essenziali del documento preliminare e del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriali e urbanistici generali;

Premesso che, ai fini della predisposizione dell'atto di indirizzo di cui in precedenza:

- la Regione Emilia-Romagna, con determinazione del D.G. Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa n. 2750 del 5 marzo 2004 (prot. n. GEO/04/13434), ha istituito un gruppo di lavoro, costituito, oltre che dai collaboratori regionali dott. R. Pignone (in qualità di coordinatore del GdL), dott. L. Martelli e ing. G. Manieri del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, dal prof. A. Marcellini (docente di Sismologia presso l'Università di Milano e dirigente di ricerca CNR presso l'Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali), dalla prof.ssa T. Crespellani (docente di Ingegneria Geotecnica Sismica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze), dall'ing. C. Mambelli (responsabile dell'Ufficio Lavori Pubblici del Comune di Forlì) in qualità di rappresentante dell'ANCI Emilia-Romagna, dalla dott.ssa R. Nicolini (responsabile dei Servizi Protezione Civile e Difesa del Suolo della Provincia di Modena) in qualità di rappresentante dell'UPI Emilia-Romagna, per la stesura di indirizzi per studi di pericolosità sismica locale e microzonazione sismica da applicarsi nell'ambito della realizzazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica;
- con atto del Responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli n. 15026 del 19 ottobre 2005 si è provveduto all'integrazione del suddetto gruppo di lavoro con i collaboratori regionali dott. G. Santangelo, arch. M. Sani, ing. M. Romani, dott.ssa R. Ventura, della DG Programmazione Territoriale e Sistemi di Mobilità, in qualità di esperti di pianificazione territoriale e urbanistica;

Premesso, inoltre che il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli:

- ha realizzato, avvalendosi della collaborazione delle Università di Parma, Modena, Bologna, Firenze, Pisa e dei Centri CNR di Pisa e Firenze, la cartografia geologica alla scala 1:10.000 e 1:25.000 di tutto l'Appennino Emiliano-Romagnolo, e la sintesi alla scala 1:50.000 per la nuova Carta Geologica d'Italia 1:50.000 per il Servizio Geologico Nazionale;
- ha realizzato la banca dati geognostica della Pianura Emiliano-Romagnola;
- sta ultimando la cartografia geologica alla scala 1:25.000 e la sintesi alla scala 1:50.000 per la nuova Carta Geologica d'Italia 1:50.000 per il Servizio Geologico Nazionale;
- ha realizzato con l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR (sezione di Firenze), avvalendosi della collaborazione del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, del Dipartimento di Fisica (settore di Geofisica) dell'Università di Bologna, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (sede di Bologna), la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000;
- ha effettuato rilevamenti geologici alla scala 1:5.000 per la microzonazione sismica degli abitati di Bagni, Stravignano, Capanne, Ceresole e Sorifa (Nocera Umbra, PG) colpiti dal terremoto del 26/9/1997 (Boll. Uff. Reg. Umbria, n. 52 del 19/8/1998, suppl. ord. n. 2);
- ha effettuato rilevamenti geologici alla scala 1:5.000 per la microzonazione sismica degli abitati di S. Croce di Magliano (CB) e Casacalenda (CB) nell'ambito del "Protocollo d'Intesa tra la Regione Emilia-Romagna e la Regione Molise con l'intervento della Provincia di Campobasso, dei Comuni di S. Croce di Magliano, S. Giuliano di Puglia e Casacalenda e del Commissario Delegato per l'emergenza Molise per le iniziative da assumere in relazione all'evento sismico iniziato il 31/10/2002", firmato il 29 novembre 2002;
- ha realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze (del. G. R. n. 740/1998) uno studio sul potenziale rischio di liquefazione dei terreni della costa romagnola, ricadente nel F. 256, a seguito di terremoti;
- ha realizzato, nell'ambito della sperimentazione per la realizzazione della carta del rischio geo-ambientale (progetto di ricerca sulla microzonazione sismica-cartografia della pericolosità sismica) in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico del CNR di Milano (del. G. R. n. 1143/1996, n. 778/1997, n. 741/1998) e il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze (del. G. R. n. 245/2000) studi di pericolosità sismica e microzonazione sismica per il "Masterplan del Rubicone propedeutico alla realizzazione dei PRG di Gatteo, Savignano sul Rubicone e S. Mauro Pascoli" e nel riminese;

- ha realizzato in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sul Rischio sismico del CNR di Milano e il Servizio Pianificazione della Provincia di Forlì-Cesena (del. G. R. n. 912/1999) uno studio di pericolosità sismica e indirizzi di microzonazione sismica per la redazione del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Forlì-Cesena;
- ha realizzato in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sul Rischio sismico del CNR di Milano e il Comune di Castelnovo ne' Monti (del. G. R. n. 2158/2001) uno studio di pericolosità sismica e microzonazione sismica del territorio comunale per i nuovi PSC e POC di Castelnovo ne' Monti (RE);
- ha realizzato, nell'ambito del progetto europeo InterReg IIIB CadSes S.I.S.M.A. (System Integrated for Security Management Activities) "Seismic risk prevention in historic centres", in collaborazione con il Servizio Protezione Civile regionale e con le amministrazioni comunali di Bagno di Romagna e Santa Sofia (FC), la microzonazione sismica dei centri urbani di Bagno di Romagna, San Piero in Bagno e Santa Sofia, indicate dalla Regione Emilia-Romagna come aree test in cui realizzare studi pilota per la valutazione del rischio sismico nei centri storici e per la messa a punto di strategie di prevenzione e mitigazione del rischio sismico;
- ha realizzato con il Servizio Pianificazione Territoriale e Urbanistica della Provincia di Rimini, nell'ambito del Protocollo d'intesa tra Regione Emilia-Romagna e Provincia di Rimini per la valutazione del rischio da effetti locali in caso di eventi sismici (D.G.R. n. 1170/2004), per il quadro conoscitivo del PTCP di Rimini, la cartografia delle aree soggette ad effetti locali;
- ha realizzato con il Servizio Pianificazione Urbanistica e Cartografia della Provincia di Modena la cartografia delle aree soggette ad effetti locali per il quadro conoscitivo del PTCP di Modena;
- sta coordinando le verifiche tecniche per la messa in sicurezza, interventi di miglioramento sismico, di edifici strategici nell'ambito delle attività previste dall'art. 80, comma 21, della L. 289/2002 e delle OPCM 3362/2004 e 3505/2006;
- ha partecipato al gruppo di collaudo della cartografia geologica e di pericolosità sismica locale della regione Umbria (D.G.R. Regione Umbria n. 79 del 19/01/2006);
- sta collaborando con l'Autorità di Bacino del Fiume Po per le verifiche sismiche delle casse di espansione nell'ambito dell'OPCM 3376/2004 "Interventi di competenza statale in materia di riduzione del rischio sismico);
- sta collaborando con l'Amministrazione Comunale di Vezzano sul Crostolo (RE) per la microzonazione sismica del territorio comunale per il Piano Strutturale Comunale;

- sta collaborando con il Settore Tecnico e Protezione Civile della Provincia di Ferrara per la realizzazione della cartografia delle aree soggette ad effetti locali per il quadro conoscitivo del PTCP di Ferrara;

Ritenuto di approvare l'Allegato atto di indirizzo e coordinamento tecnico, frutto dell'attività svolta dal citato gruppo di lavoro, come previsto dall'articolo 16 della L.R. 20/2000, dando atto che dalla data di entrata in vigore del presente atto di indirizzo e coordinamento tecnico, gli strumenti di pianificazione non potranno essere approvati se non in conformità con lo stesso, secondo quanto meglio specificato al punto 5. dell'Allegato A parte integrante del presente atto;

Dato atto del parere del parere favorevole degli Enti locali assunto ai sensi dell'art. 30 della L.R. 3/99 nell'ambito della Conferenza Regione - Autonomie locali;

Previa votazione palese, a maggioranza dei presenti,

#### d e l i b e r a

1. di approvare l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico in merito agli studi di valutazione della risposta sismica locale e di microzonazione sismica del territorio di cui all'Allegato A, parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;
2. di dare atto che i presenti indirizzi forniscono i criteri per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio e che gli stessi dovranno essere osservati dalle Amministrazioni provinciali e comunali nell'elaborazione della propria strumentazione territoriale ed urbanistica;
3. di pubblicare la presente deliberazione nel Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna.



## **ALLEGATO A**

**Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"**

### **1 - INTRODUZIONE**

### **2 - DISPOSIZIONI GENERALI**

*2.1 - Zone da indagare*

*2.2 - Formato dei dati e degli elaborati*

*2.3 - Sperimentazione della valutazione del rischio sismico nelle procedure di formazione degli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale*

### **3 - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI**

#### **3.1 - Primo livello di approfondimento**

*3.1.1 - Elaborati da produrre*

*3.1.2 - Acquisizione dei dati*

### **4 - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO**

#### **4.1 - Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata**

*4.1.1 - Elaborati da produrre*

*4.1.2 - Acquisizione dei dati*

#### **4.2 - Terzo livello di approfondimento – analisi approfondita**

*4.2.1 - Elaborati da produrre*

*4.2.2 - Acquisizione dei dati*

### **5 - ADEGUAMENTO DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA**

**ALLEGATO A1 – Indicazioni per l'elaborazione della "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" (primo livello di approfondimento).**

**ALLEGATO A2 – Tabelle e formule per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica per le analisi del secondo livello di approfondimento e per la valutazione degli effetti topografici.**

**ALLEGATO A3 – Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento.**

**ALLEGATO A4 – Spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento.**

## 1 - INTRODUZIONE

Gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione del rischio sismico – così come specificato nell'art. A-2, comma 4, dell'Allegato alla LR 20/2000<sup>1</sup> - attraverso analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica ed orientano le proprie scelte localizzative, i possibili processi di trasformazione urbana e la realizzazione delle opere di interesse pubblico verso scenari di prevenzione e mitigazione del rischio sismico.

A tal fine, il quadro conoscitivo, degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, deve perseguire lo scopo di migliorare la conoscenza delle componenti che determinano il rischio sismico nonché fornire criteri di scelta finalizzati alla prevenzione e alla riduzione dello stesso, secondo un approccio graduale e programmatico alle varie scale e ai vari livelli di pianificazione.

Pertanto, nel definire il quadro conoscitivo, gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica devono avere riguardo alle parti di territorio interessate dai rischi per le opere e le attività umane determinate anche dalla pericolosità sismica.

Queste conoscenze della pericolosità sismica potenziale del territorio consentono alla pianificazione di evitare l'insorgenza di nuovi rischi attraverso la localizzazione di interventi in aree esposte a minor pericolo.

Scopo del presente atto di indirizzo e coordinamento è quello di fornire i criteri per la individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

Lo studio della pericolosità di base e della pericolosità locale<sup>2</sup> hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine (“Analisi della Risposta Sismica Locale”, RSL);
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (“Microzonazione Sismica”, MZS).

---

<sup>1</sup> “Nei territori regionali individuati come zone sismiche, ai sensi dell'art. 145 della LR n. 3 del 1999, gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione ed alla prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.”

<sup>2</sup> La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

- dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti; questi aspetti sono comunemente indicati come “pericolosità sismica di base”;
- dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione); questi aspetti sono comunemente indicati come “pericolosità sismica locale”.

I risultati dell'analisi della pericolosità sismica locale e della microzonazione sismica, contenuti nel quadro conoscitivo, devono essere applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

## 2 - DISPOSIZIONI GENERALI

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Tali studi svolti devono essere descritti in una relazione che indichi chiaramente il livello di approfondimento, le indagini effettuate e i risultati ottenuti e devono fornire una cartografia dello stato del territorio, e sono un riferimento necessario per la Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale (VALSAT) preventiva delle singole scelte del piano.

Si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$  in cui il deposito ha spessore costante si ritiene sufficiente **un'analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'**analisi più approfondita** (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta nei seguenti casi (vedere Allegato A1):

- aree soggette a liquefazione e densificazione;

- aree instabili<sup>3</sup> e potenzialmente instabili;
- aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, rivolte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica.

In queste parti del territorio la pericolosità potrebbe essere molto elevata e perciò deve essere attentamente valutata la possibilità di renderle suscettibili di trasformazione urbanistica.

#### **La seconda fase non è richiesta nei comuni classificati in zona 4.**

La prima fase, o primo livello di approfondimento (individuazione delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali), viene attuata nell'ambito della pianificazione provinciale, relativamente all'intero territorio, ed è recepita e integrata, ad una scala di maggior dettaglio, nella pianificazione urbanistica comunale, limitatamente alle zone da indagare di cui al punto 2.1.

La seconda fase (analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio) è richiesta per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale ed è limitata alle aree già urbanizzate o indicate come suscettibili di urbanizzazione, ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali individuate nella prima fase.

Per il calcolo degli effetti locali, nelle indagini di terzo livello, si devono impiegare come segnali di riferimento i dati contenuti nell'Allegato 4 e nel database regionale disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica). Sulla base di questi dati è possibile calcolare, per ogni comune, gli accelerogrammi e lo spettro di risposta riferito ad un periodo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

Sia nel secondo che nel terzo livello di approfondimento devono essere valutati gli effetti della topografia con i criteri specificati nell'Allegato A2 (punto A2.2)<sup>4</sup>.

Le indagini realizzate nella seconda fase possono fornire anche indicazioni per la scelta localizzativa degli edifici e per la progettazione preliminare degli interventi. Non si è tuttavia esentati dalle indagini e dagli studi integrativi richiesti per la progettazione e la realizzazione dell'opera.

---

<sup>3</sup> Naturalmente nelle eccezionali ipotesi nelle quali la pianificazione preveda comunque l'utilizzo ai fini edificatori di tali aree.

<sup>4</sup> I valori che si ricavano dalle formule indicate nell'Allegato A2 (punto A2.2) potrebbero portare a sovrastima. Tali valori possono essere sostituiti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale ottenuti con le procedure previste dal terzo livello di approfondimento.

Nel territorio urbanizzato, per i significativi interventi di trasformazione urbanistica, può rendersi opportuno uno studio di approfondimento di terzo livello, per valutare se la variazione del carico urbanistico e funzionale ipotizzata possa aumentare il rischio sismico.

I risultati di tali indagini possono trovare applicazioni anche nei piani di protezione civile<sup>5</sup>.

### *2.1 - Zone da indagare*

Le zone su cui effettuare le indagini variano, come già affermato in precedenza, a seconda della scala dello strumento di pianificazione considerato:

- a scala provinciale occorre indagare l'intero territorio provinciale;
- a scala comunale, partendo dagli scenari di pericolosità sismica locale definiti dalla cartografia provinciale di prima fase, le zone da indagare comprendono:
  - il territorio urbanizzato (la città esistente);
  - il territorio urbanizzabile (le parti del territorio potenzialmente sottoposte a trasformazioni urbanistiche sostanziali per l'espansione della città);
  - le fasce di territorio riguardanti le reti infrastrutturali (per la mobilità, acquedottistiche, fognarie, energetiche e relativi impianti tecnologici) e i corridoi destinati al potenziamento e alla razionalizzazione dei sistemi per la mobilità.

Le indagini e le analisi devono essere estese ad un'adeguata fascia limitrofa ai territori e alle zone sopra citate il cui comportamento è potenzialmente in grado di influenzare i risultati della microzonazione nell'edificato.

### *2.2 - Formato dei dati e degli elaborati*

Per il confronto dei dati e allo scopo di permettere lo scambio delle informazioni tra Enti si richiede ai sensi della Deliberazione del Consiglio Regionale 28 maggio 2003, n. 484, che:

- i dati e gli elaborati cartografici devono essere conformi, ai fini della confrontabilità geografica digitale, secondo quanto previsto al punto A.1;
- i risultati e gli elaborati devono essere forniti su supporto cartaceo e su supporto digitale secondo quanto indicato nel punto A.3.

### *2.3 - Sperimentazione della valutazione del rischio sismico nelle procedure di formazione degli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale*

Per la realizzazione e l'utilizzo, nel processo di pianificazione, degli elaborati di seguito illustrati, le Amministrazioni potranno avvalersi del supporto del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e del Servizio Coordinamento e Promozione della Pianificazione Urbanistica; ai fini del coordinamento e integrazione delle informazioni di cui all'art. 17 della LR 20/2000 e dei disposti della Deliberazione n. 484 del 28 maggio 2003, le stesse Amministrazioni potranno avvalersi del Servizio Sistemi Informativi Geografici.

---

<sup>5</sup> Rif. Art. A-3 "Pianificazione degli interventi per la sicurezza del territorio" dell'Allegato alla LR 20/2000.

### 3 - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI

#### 3.1 - Primo livello di approfondimento

In sede di elaborazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) deve essere prodotta, per l'intero territorio della provincia, la "Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali"<sup>6</sup>. In tale cartografia devono essere evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi. Essa è dunque uno strumento propedeutico alla pianificazione urbanistica comunale utile per indirizzare le scelte verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica.

Il Piano Strutturale Comunale (PSC), attuando gli indirizzi previsti dalla pianificazione sovraordinata, dovrà realizzare una nuova cartografia della pericolosità sismica locale, ad una scala di maggior dettaglio, individuando le parti del territorio caratterizzate dai differenti scenari di pericolosità sismica locale.

In particolare, le analisi individuano le seguenti parti del territorio:

- aree che non necessitano di approfondimento, in quanto si ritiene il pericolo assente o trascurabile: si tratta di parti di territorio per le quali gli studi di primo livello non hanno individuato specifiche controindicazioni all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso;
- aree che necessitano di una seconda fase di approfondimento al fine di valutare la pericolosità sismica:
  - aree oggetto di un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento - punto 2a - disposizioni generali);
  - aree oggetto di un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento - punto 2b - disposizioni generali).

Le previsioni del PSC (o del PTCP<sup>7</sup>) in merito agli ambiti suscettibili di urbanizzazione e per gli interventi sul territorio urbanizzato dovranno essere coerenti con le risultanze del quadro conoscitivo relative al rischio sismico e, di conseguenza, nella VALSAT del piano dovrà essere contenuta un'esplicita valutazione della coerenza degli interventi di trasformazione ipotizzati, in considerazione anche delle altre criticità ambientali, in modo tale da valutare in maniera integrata tutte le interazioni potenzialmente negative.

Sulla base della medesima carta comunale, le disposizioni del PSC (o del PTCP<sup>7</sup>) forniscono indirizzi e prescrizioni necessari alla progettazione attuativa/operativa assegnata al Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE) e al Piano Operativo Comunale (POC), per le parti del territorio che risultano maggiormente esposte a pericolosità sismica.

---

<sup>6</sup> Nel caso in cui la pianificazione provinciale assuma il ruolo e gli effetti della pianificazione comunale, la carta sarà adeguata a questo livello di pianificazione.

<sup>7</sup> Qualora lo stesso assuma ruolo ed effetti della pianificazione comunale.

### 3.1.1 - *Elaborati da produrre*

Per il PTCP devono essere prodotti i seguenti elaborati:

- Relazione riguardante la sismicità della zona analizzata, redatta sulla base delle informazioni disponibili nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica);
- Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali alla scala 1:25.000 da compilarli secondo quanto previsto nell'Allegato A1.

Per il PSC dovrà essere approfondita e integrata tale carta provinciale realizzando una "Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali" a scala 1:5.000, secondo quanto previsto nell'Allegato A1. Nella carta comunale devono essere chiaramente indicate le aree che dovranno essere oggetto delle indagini di successivo e ulteriore approfondimento. A corredo dovranno essere fornite anche le cartografie di base (geologica, geomorfologia, litologica, dello spessore delle coperture e della profondità della falda) e i profili geolitologici utilizzati per la realizzazione.

Inoltre, per assicurare, per tutto il territorio regionale, un'omogenea modalità di rappresentazione cartografica e l'integrazione delle informazioni delle aree suscettibili di effetti locali, dovrà essere realizzata una carta di sintesi in cui:

- le aree che non necessitano di approfondimento sono rappresentate con colore bianco;
- le aree che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore giallo;
- le aree per le quali è richiesta un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore rosso.

### 3.1.2 - *Acquisizione dei dati*

Nella predisposizione della "Carta delle aree suscettibili di effetti locali", sia provinciale che comunale, è richiesto il reperimento dei dati e delle informazioni precedentemente acquisiti in occasione di indagini di settore o per la predisposizione di strumenti di pianificazione, in particolare:

- cartografia topografica di dettaglio (tavole topografiche 1:25.000, CTR 1:5.000, carte comunali 1:2.000) da utilizzare come supporto per i rilievi e per la restituzione dei risultati;
- cartografia geologica (Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo 1:10.000 e sintesi alla scala 1:25.000, cartografie allegate a strumenti di pianificazione, cartografie per progetti particolari);
- cartografia dei dissesti conosciuti (Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo 1:10.000 e Inventario del dissesto 1:25.000, cartografie allegate a strumenti di pianificazione, perimetrazioni aree a rischio, cartografie per progetti particolari);
- risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche esistenti.

Nelle aree pianeggianti e sui versanti con acclività  $\leq 15^\circ$ , in assenza di dati disponibili, dovranno essere eseguite apposite nuove indagini che permettano di definire la stratigrafia, le tipologie e gli spessori delle coperture, ai fini della predisposizione della cartografia comunale.

Nelle aree instabili e potenzialmente instabili in questa fase non sono richieste ulteriori indagini in quanto per tali aree è richiesto un approfondimento di terzo livello (punto 4.2).

#### **4 - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO**

La seconda fase ha come obiettivo la valutazione della risposta sismica locale e la microzonazione sismica del territorio indagato.

Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni presenti nell'area in studio.

Gli scenari identificati nella prima fase individuano, come detto in precedenza, due diversi livelli di approfondimento (secondo o terzo livello) caratterizzati da diversi programmi di indagine.

##### **4.1 - Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata**

Un'analisi semplificata è richiesta e ritenuta sufficiente, per gli ambiti suscettibili di urbanizzazione e per gli interventi sul territorio urbanizzato, nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$ , in cui il deposito ha spessore costante.

Tale analisi ha lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale per l'elaborazione della carta di microzonazione. Questa fornisce indicazioni essenziali per l'elaborazione e approvazione del PSC (o del PTCP<sup>7</sup>) e delle sue varianti indicando:

- quali ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento possano essere attuati senza la necessità di eseguire nuove indagini;
- quali ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento siano subordinati allo svolgimento di ulteriori indagini di cui al punto 4.2.

##### *4.1.1 - Elaborati da produrre*

In aggiunta agli elaborati previsti nella prima fase, devono essere prodotti

- la carta di microzonazione sismica alla scala 1:5.000 o 1:2.000<sup>8</sup> delle parti di territorio indagate;
- i coefficienti di amplificazione sismica per ciascuna delle aree individuate nella "Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali" (cfr. 3.1) ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>)<sup>9</sup> per prefissati intervalli

<sup>8</sup> La scala è da rapportare alle dimensioni dell'area studiata.

<sup>9</sup> L'Intensità di Housner SI<sub>I</sub> è definita da

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\zeta=5\%)} dT \quad \text{dove } PSV \text{ è lo spettro di risposta in velocità (smorzamento } \zeta = 5\%).$$



di periodi, dove  $PGA_0$  e  $SI_0$  sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)) e  $PGA$  e  $SI$  sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati<sup>10</sup>.

A corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico del sottosuolo e dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ).

#### 4.1.2 - *Acquisizione dei dati*

Si dovrà procedere ad effettuare indagini finalizzate alla determinazione della profondità del *bedrock* sismico e dello spessore del deposito di copertura e alla definizione di profili di  $V_s$ .

Qualora le prove disponibili non abbiano raggiunto il *bedrock*, il profilo di  $V_s$  sarà estrapolato in profondità fino a valori di  $V_s = 800$  m/s mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale.

E' richiesta anche la valutazione degli effetti topografici, secondo quanto indicato nell'Allegato A2, punto A2.2.

Nelle aree in cui, dalle indagini di prima fase, risulta la presenza di caratteri predisponenti alla liquefazione, è richiesta anche una prima valutazione della possibilità di occorrenza di tale fenomeno. Tale valutazione può essere basata sulla figura 1 dell'Allegato A3.

## 4.2 - Terzo livello di approfondimento – analisi approfondita

Un'analisi più approfondita è richiesta, come indicato in precedenza, per le aree nelle quali si intenda localizzare ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento, nelle seguenti situazioni:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Questo livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili, di quelle soggette a liquefazione e densificazione sempre ai fini della redazione della carta di microzonazione.

Gli ambiti per i quali è richiesta l'attuazione di questo terzo livello di approfondimento, fermo restando le aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse

---

<sup>10</sup> I valori riportati nelle tabelle potrebbero portare a sovrastima. Tali valori possono essere sostituiti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale ottenuti con le procedure previste dal terzo livello di approfondimento.

pubblico (cfr. 4.2.d), attraverso il primo livello di analisi, devono, pertanto, essere già individuati nel PTCP, nella “Carta delle aree scuscellibili di effetti locali”.

Di conseguenza, le norme tecniche del PTCP devono prevedere che la pianificazione urbanistica comunale debba subordinare la previsione di ambiti di riqualificazione o nuovo insediamento e di opere di rilevante interesse pubblico all’attuazione di questo livello di analisi.

In particolare, tali studi sono acquisiti nella fase di predisposizione e approvazione del POC, disciplinati dallo stesso e per i progetti la cui approvazione costituisce variante al POC; inoltre, possono essere prescritte dal POC stesso quale contenuto essenziale dei Piani Urbanistici Attuativi (PUA), qualora il POC ne preveda la predisposizione e approvazione in una fase successiva.

La zona da indagare e la scala di restituzione degli elaborati sono commisurate alla criticità e alle dimensioni dell’area e all’importanza dell’opera da realizzare.

#### 4.2.1 - Elaborati da produrre

Devono essere forniti, come requisiti minimi:

- la perimetrazione dettagliata delle aree oggetto delle indagini;
- gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento  $\zeta = 5\%$  e le mappe di amplificazione in termini di:
  1.  $PGA/PGA_0$ ;
  2.  $SI/SI_0$

A corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico del sottosuolo e per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sia in campo statico che dinamico.

Qualora gli strumenti di pianificazione consentano la realizzazione di opere nelle aree instabili, in quelle potenzialmente instabili e in quelle soggette a rischio di liquefazione e densificazione, dovranno essere forniti elaborati di quantificazione dei potenziali movimenti franosi e dei cedimenti attesi. Tali valutazioni dovranno essere supportate da prove sperimentali in sito e in laboratorio e dovranno essere condotte in conformità ai principi e ai metodi della Geotecnica Sismica. Nell’Allegato A3 sono indicate alcune procedure di riferimento.

Nella relazione dovranno essere descritti in dettaglio i procedimenti e i codici di calcolo utilizzati e i risultati delle prove sperimentali in sito e in laboratorio. Dovranno essere chiaramente specificati anche i criteri per la definizione del *bedrock* sismico.

E' obbligatorio usare come segnale di input per il calcolo degli effetti locali gli accelerogrammi disponibili nel citato sito internet della Regione Emilia-Romagna.

#### 4.2.2 - Acquisizione dei dati

Il programma delle prove, sia nei terreni stabili che in quelli instabili, deve essere commisurato alla specificità del caso.

La tipologia e il numero delle prove devono essere adeguatamente descritti e motivati nella relazione. Dovranno essere utilizzate solo tecniche di prova di riconosciuta affidabilità per le quali esistono riferimenti nella letteratura scientifica.

Gli effetti topografici dovranno essere valutati secondo quanto indicato nell'Allegato A2, punto A2.2.

## **5 - ADEGUAMENTO DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA**

Come è noto dalla data di classificazione sismica è obbligo per i Comuni valutare la compatibilità delle previsioni contenute negli strumenti di pianificazione con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico, così come chiarito al punto 6 della delibera di Giunta regionale 1677/05 e nella parte narrativa della presente deliberazione.

Pertanto, ai fini dell'adempimento di tale obbligo, dalla data di entrata in vigore del presente atto, gli strumenti di pianificazione non potranno essere approvati se non in conformità con i presenti indirizzi.

Detto adeguamento potrà avvenire attraverso un approfondimento delle analisi e delle valutazioni che vede in primo luogo l'adeguamento del PTCP e, successivamente il recepimento e l'approfondimento delle indicazioni da esso fornite dal PSC e quindi dal POC. Si ritiene tuttavia che, vi sia la possibilità di conformare gli atti di pianificazione in corso di approvazione al presente atto di indirizzo anche in carenza del preventivo adeguamento della pianificazione sovraordinata. Ciò al fine di consentire l'approvazione di detti strumenti urbanistici senza dover attendere il preventivo allineamenti degli strumenti di pianificazione sovraordinata.

In particolare, si sottolinea che:

- le Province devono adeguare i PTCP secondo quanto previsto al punto 3.;
- i Comuni, attuando gli indirizzi del PTCP, devono adeguare i propri PSC;
- in assenza di indicazioni nel PTCP, i Comuni dovranno comunque adeguare il PSC secondo quanto previsto ai punti 3. e 4.1;
- i Comuni, in assenza di PSC già adeguati ai criteri previsti ai punti 3. e 4.1, al momento dell'elaborazione di POC e PUA provvedono direttamente allo svolgimento delle analisi di cui al punto 4.2, per le parti di territorio interessate dai medesimi strumenti;
- gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica in corso di approvazione alla data di entrata in vigore del presente atto di indirizzo provvedono ad integrare i propri contenuti secondo quanto previsto ai punti 3. e 4.

**ALLEGATO A1****INDICAZIONI PER L'ELABORAZIONE DELLA "CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI" (PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO).**

In questa carta dovranno essere rappresentate tutte le condizioni locali, cioè gli aspetti geologici e geomorfologici del territorio in esame, che possono determinare effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei terreni, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

Le più comuni caratteristiche fisiche del territorio che possono determinare tali effetti in Emilia-Romagna sono le seguenti.

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore  $\geq 5$  m):

- detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio-colluviali, detriti di versante s.l., depositi morenici, depositi da geliflusso);
- detriti di conoide alluvionale;
- depositi alluvionali terrazzati e di fondo valle;
- accumuli detritici in zona pedemontana (falde di detrito e coni di deiezione);
- depositi fluvio-lacustri
- riporti antropici poco addensati;
  
- substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore  $\geq 5$  m);
- litotipi del substrato con  $V_s < 800$  m/sec <sup>11</sup>.

Elementi morfologici che possono determinare amplificazione:

- creste, cocuzzoli, dorsali allungate, versanti con acclività  $> 15^\circ$  e altezza  $\geq 30$  m

Depositi suscettibili di amplificazione e cedimenti:

- depositi granulari fini con livello superiore della falda acquifera a profondità minore di 15 m dal piano campagna, con composizione granulometrica che ricade nelle fasce critiche indicate nell'Allegato A3 (figura 1) (fattori predisponenti al fenomeno di liquefazione);
- depositi (spessore  $\geq 5$  m) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori  $N_{SPT} < 15$  o  $c_u < 70$  kpa.

Aree soggette ad instabilità di versante:

- aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti,

---

<sup>11</sup> Possono rientrare in questa categoria le argille e le argille marnose oligo-mioceniche della Successione Epiligure, le argille e le argille marnose tardo messiniane e plio-pleistoceniche, le sabbie poco cementate plio-pleistoceniche.

indipendentemente dalla genesi, con acclività > 15°; pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati<sup>12</sup> con acclività > 15°; versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio; aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso; scarpate subverticali; accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).

Elementi che possono determinare effetti differenziali, sia amplificazione che cedimenti:

- contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse;
- cavità sepolte.

Molte delle informazioni sopra richieste possono essere derivate direttamente da una dettagliata cartografia geomorfologica e geologica, corredata da profili geo-litologici e logs stratigrafici che descrivano l'assetto e la stratigrafia anche nel sottosuolo<sup>13</sup>.

Per la realizzazione della cartografia delle aree suscettibili di effetti locali e per la caratterizzazione del comportamento sismico sono di estrema utilità anche la carta dei litotipi affioranti (legenda disponibile nel sito [www.regione.emilia-romagna.it/geologia](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia)) e la carta della profondità dal piano campagna del livello di falda superficiale.

Le carte geologiche, geomorfologiche, litologiche, dello spessore delle coperture e della profondità della falda costituiscono quindi la necessaria base informativa e perciò si raccomanda che tali carte siano sempre allegate a corredo della “Carta delle aree suscettibili di effetti locali” e della relazione.

---

<sup>12</sup> Rientrano in questa categoria i terreni con spaziatura della fratturazione < 20 cm.

<sup>13</sup> La cartografia geologica e geotematica della Regione Emilia-Romagna, sia per il settore appenninico che per la pianura, è reperibile presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e presso l'Archivio Cartografico regionale.

## ALLEGATO A2

**TABELLE E FORMULE PER LA VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DEL SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI.**

**A2.1 - Tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (secondo livello di approfondimento)**

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi semplificata devono essere realizzate indagini geotecniche che permettano la definizione dello spessore del deposito di copertura e della profondità del *bedrock* (H) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{SH}$  e  $V_{S30}$ ) del deposito di copertura secondo le formule di seguito riportate:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*)

$V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*);

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);

$V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

I Fattori di Amplificazione (F.A.) sono riferiti al Suolo A come previsto dall'Eurocodice 8, parte 1, e dal D.M. 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", punto 3.2.1.

A2.1.1 - APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO

In caso di substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$\frac{V_{SH}}{H}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.6	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0
20	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0
30	1.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0
35	1.7	1.8	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0
40	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_o < 0.5s$

$\frac{V_{SH}}{H}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.1	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
25	2.2	2.4	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
30	2.1	2.3	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
35	1.9	2.1	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_o < 1.0s$

$\frac{V_{SH}}{H}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.1	2.1	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
30	2.4	2.3	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
35	2.5	2.4	2.3	1.8	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
40	2.7	2.6	2.6	2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0

In caso di substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$

$V_{SH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

In caso di substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s affiorante si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$

$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0



A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA

In ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessore fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 1) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.4	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

In ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da potenti orizzonti di ghiaie (spessori metrici, fino a circa 15 m) intercalati in sedimenti alluvionali fini, sabbie costiere superficiali (con spessore fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 2) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.2	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_o < 1.0s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.4	2.3	2.1	1.8	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

In ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze, potenti anche decine di metri, di sabbie e peliti con intercalazioni di lenti e orizzonti di ghiaie (spessori metrici, fino a circa 20 m), sabbie costiere superficiali (con spessore fino a 10 m) e substrato profondo (>100 m da p.c.) (COSTA 3) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_o < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_o < 1.0s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.5	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.0

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (< 100 m da p.c.) (PIANURA1) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_o < 0.5s$

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$**

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

**F.A. P.G.A.**

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_0 < 0.5s$**

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_0 < 1.0s$**

$V_{S30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

**A2.2 - Effetti della topografia**

Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a  $15^\circ$ . Devono essere calcolati nel caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza (H) superiore a 30 metri. Per pendii con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  la risposta sismica locale deve essere moltiplicata per un fattore  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica) calcolato nel seguente modo (v. figura 1):

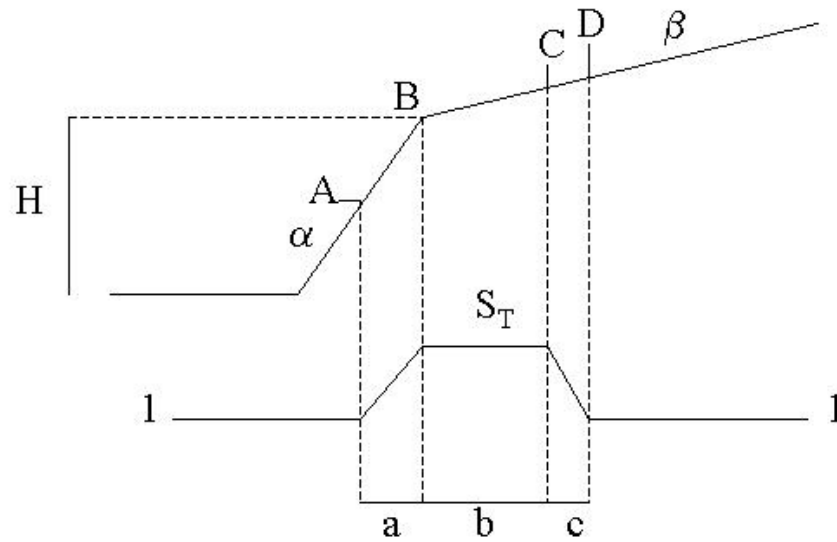


Figura 1

$S_T = 1 + 0.8(\alpha - \beta - 0.4)$  sul segmento BC

b: valore minimo tra  $20\alpha$  e  $\frac{H+10}{4}$

$\alpha$  e  $\beta$  sono i gradienti della parte più ripida e meno ripida, rispettivamente:

$S_T = 1$  in A ( $a = H/3$ )

$S_T = 1$  in D ( $c = H/4$ )

$S_T$ : si impone comunque un valore compreso tra 1 e 1.4

**ALLEGATO A3****PROCEDURE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.****A) Valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione**

Nell'ipotesi che il caso in esame non rientri tra quelli di seguito elencati per cui è possibile escludere la possibilità di fenomeni di liquefazione, nelle analisi di seconda fase il rischio di liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni).

La susceptibilità del terreno deve essere valutata sulla base di prove in sito (SPT e/o CPT e/o prove geofisiche in foro del tipo DH, CH e/o SCPT), esplorando un numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera e all'estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito. Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

Nelle verticali esplorate la stima del potenziale di liquefazione dovrà essere effettuata con i 'metodi semplificati' di seguito specificati, e a tal fine in ogni verticale dovrà essere valutato il picco di accelerazione  $a_{\max s}$  alla superficie del deposito mediante analisi della risposta sismica locale. L'analisi della risposta sismica locale può essere omessa se nell'area sono stati già eseguiti studi di microzonazione di II livello che forniscano nel sito i valori di  $a_{\max s}$ .

Per l'analisi della risposta sismica locale dovranno essere eseguite prove in sito per la misura di  $V_S$  e prove dinamiche di laboratorio (prove di colonna risonante e/o di taglio torsionale ciclico) per la determinazione delle leggi di variazione del modulo di taglio  $G$  e del rapporto di smorzamento  $D$  con l'ampiezza della deformazione di taglio  $\gamma$ . Se si adoperano codici di calcolo che eseguono l'analisi della risposta sismica locale in termini di pressioni efficaci, su alcuni campioni rappresentativi (che dovranno essere indisturbati e di ottima qualità) dovranno essere effettuate prove cicliche di resistenza alla liquefazione, mirate a conseguire i parametri necessari per la loro applicazione.

I risultati dello studio devono essere presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione in ciascuna delle verticali esplorate. Per ogni verticale dovrà anche essere valutato l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  di seguito definito.

Se è:

- $0 < I_L \leq 5$  il rischio di liquefazione è basso
- $5 < I_L \leq 15$  il rischio di liquefazione è elevato
- $I_L > 15$  il rischio di liquefazione è estremamente elevato

I risultati devono essere riportati in una carta dove, oltre alla perimetrazione dell'area indagata, devono essere indicati la localizzazione delle verticali esplorate e il valore dell'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$ .

Nel caso che i terreni risultino liquefacibili o suscettibili di significativi incrementi delle pressioni interstiziali durante l'evento sismico di riferimento, devono esserne valutati gli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici<sup>14</sup> seguendo le indicazioni del paragrafo C).

## 1. CASI IN CUI SI PUÒ ESCLUDERE CHE SI VERIFICHINO FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni<sup>15</sup>:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.1g;
3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
  - frazione di fine<sup>16</sup>,  $FC$ , superiore al 20%, con indice di plasticità  $PI > 10$ ;
  - $FC \geq 35\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 20$ ;
  - $FC \leq 5\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 25$

dove  $(N_1)_{60}$  è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione:  $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$  in cui il coefficiente  $C_N$  è ricavabile

dall'espressione  $C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$  essendo  $p_a$  la pressione atmosferica e  $\sigma'_v$  la pressione

efficace verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1 (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 1 (b) per coefficienti di uniformità  $U_c > 3.5$ .
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna<sup>17</sup>.

## 2. METODI PER LA STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vanno impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica vengono denominati 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni quota  $z$  del deposito compresa nei primi 20 m, del coefficiente di

sicurezza  $F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$  dove:

<sup>14</sup> I cedimenti del terreno sono infatti legati all'incremento e all'accumulo di pressioni interstiziali durante il terremoto e alla loro dissipazione post-sismica; perciò si possono avere cedimenti permanenti anche se non si raggiunge la condizione di liquefazione.

<sup>15</sup> Vedi anche Linee Guida AGI, 2005

<sup>16</sup> La frazione di fine è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

<sup>17</sup> L'indicatore è valido solo nel caso di piano campagna orizzontale, in presenza di edifici con fondazioni superficiali. Nel caso di pendii e/o in presenza di fondazioni profonde, le analisi di liquefazione devono essere estese a profondità maggiori.

-  $CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$  è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione efficace verticale

iniziale  $\sigma'_{v0}$ ) che può essere valutata attraverso abachi, quali quelli indicati nella Figura 2, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio  $V_s$ <sup>18</sup>;

-  $CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$  è la tensione indotta dal terremoto e dove  $a_{maxs}$  è

il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata  $r_d = 1 - 0.015z$ ;

-  $MSF$  è un fattore di scala che può essere valutato mediante la Tabella 1 in funzione della magnitudo dei terremoti attesi.

Tra i metodi semplificati i metodi basati su prove CPT sono particolarmente raccomandati e tra questi il metodo di Robertson e Wride (1998)<sup>19</sup>.

Se il fattore  $F_L > 1$  la liquefazione è da escludere; se è  $F_L < 1$  è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione. E' da osservare che anche quando  $F_L > 1$  si possono avere dopo il terremoto cedimenti permanenti del terreno.

### 3. DEFINIZIONE E CALCOLO DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'indice del potenziale di liquefazione,  $I_L$ , è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui  $z$  è la profondità dal piano campagna in metri e  $w(z) = 10 - 0.5z$

Ad una data quota  $z$  il fattore  $F(z) = F$  vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

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

<sup>18</sup> Vedi Linee Guida AGI, 2005, Appendice E.

<sup>19</sup> Vedi Linee Guida AGI, 2005, Appendice E.

**B) Stima dei cedimenti permanenti nei terreni granulari saturi liquefacibili**

In prima approssimazione il cedimento permanente post-sismico  $\Delta H$  dei terreni liquefacibili ( $F_L \leq 1$ ) può essere stimato con l'espressione:

$\Delta H = \varepsilon_v H$  dove  $H$  è l'altezza dello strato liquefacibile ed  $\varepsilon_v$  (%) è la deformazione volumetrica

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale che in prima approssimazione può essere posta uguale a 1,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale,  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica;  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  è il

rapporto di pressione interstiziale<sup>20</sup>.

In prima approssimazione:

- l'indice di riconsolidazione postciclica  $C_r$  può essere posto pari a  $C_r = 0.225 C_c$  (dove  $C_c$  è l'indice di compressione ottenuto in prove edometriche)
- il rapporto di pressione interstiziale  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  può essere valutato con il grafico di Figura 3 o con la Tabella 2, in funzione della ampiezza della deformazione di taglio massima  $\gamma_{max}$  indotta dal terremoto ;

<sup>20</sup> Nelle Linee Guida AGI (2005), per i terreni granulari si propone per la valutazione dell'incremento di pressione interstiziale generato dalla sollecitazione sismica relazione empirica (Seed & Booker, 1977):

$$\frac{\Delta u_N}{\sigma'_0} = \frac{2}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left[ \left( \frac{N}{N_L} \right)^{1/2a} \right]$$

dove  $\Delta u_N$  è l'incremento di pressione interstiziale dopo  $N$  cicli di carico,  $\sigma'_0$  il valore iniziale della pressione media efficace alla profondità considerata,  $N$  è il numero di cicli di carico di ampiezza costante equivalente al sisma ed  $N_L$  è il numero di cicli di carico necessari per produrre la liquefazione nel terreno. La costante sperimentale  $a$  può essere valutata mediante la relazione proposta da Fardis & Veneziano (1981), in funzione della densità relativa,  $D_r$  (in frazione):

$$a = 0.96 \cdot D_r^{0.83} \cdot \varepsilon_\theta$$

Il termine  $\varepsilon_\theta$  ha distribuzione log-normale con valore medio unitario e varianza pari a 0.1<sup>2</sup>.

Si fa presente che il numero dei cicli di carico  $N$  può essere stimato in funzione della magnitudo del terremoto mediante la tabella di seguito riportata, mentre il numero di cicli che portano a liquefazione il terreno  $N_L$  deve essere determinato in laboratorio con prove triassiali cicliche o di taglio semplice ciclico.

M	N
5	3.8
5.5	4.0
6	4.5
6.5	7
7	10



- l'ampiezza della deformazione di taglio massima  $\gamma_{\max}$  può essere valutata con l'espressione  $\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$ , dove  $a_{\max s}$  è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  è la tensione totale verticale;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che mette in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata  $r_d = 1 - 0.015z$ ;  $G$  è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo  $\gamma_{\max}$ , che può essere determinato o utilizzando le leggi di variazione  $G(\gamma)$  ottenute con prove dinamiche in laboratorio o mediante la Tabella 3 applicando un fattore riduttivo al modulo di taglio  $G_0$ .

Nel caso in cui sia  $F_L > 1$  la quantità  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  può essere ricavata con la relazione:  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = F_L^{-7}$ .

I risultati devono essere riportati in una carta dove, oltre alla perimetrazione dell'area indagata, devono essere indicati la localizzazione delle verticali esplorate e il valore del cedimento cumulato.

Nel caso che al di sopra della falda vi siano terreni granulari non saturi e/o terreni coesivi molli, nella carta in corrispondenza di ogni verticale dovrà essere riportato il valore del cedimento totale relativo agli strati non saturi e/o coesivi e agli strati liquefacibili sotto falda (vedi paragrafi D e E).

### C) Criteri di identificazione dei pendii potenzialmente instabili

La valutazione del rischio di instabilità di pendii naturali e artificiali al III livello dovrà essere condotta con rilievi geologici molto più approfonditi rispetto al II livello .

La scelta dei metodi di controllo della stabilità dei pendii sarà sempre da commisurare all'importanza dell'opera e alla gravità delle conseguenze di un eventuale collasso e, in generale, dovranno essere effettuate anche prove dinamiche in sito e in laboratorio che consentano una accurata caratterizzazione dei terreni in campo dinamico e l'identificazione dei fenomeni associati al terremoto (amplificazione della risposta sismica, liquefazione, decadimento della resistenza) che possono aggravare, in aggiunta alle forze inerziali, le condizioni di stabilità del pendio. I metodi di verifica saranno scelti tra quelli della Geotecnica Sismica ritenuti più affidabili e consolidati, e saranno inclusivi dell' analisi della risposta sismica locale e degli effetti topografici.

Nel caso di frane attive, particolare attenzione dovrà essere data alla perimetrazione dell'area in frana, alla identificazione dei volumi potenzialmente instabili in condizioni sismiche<sup>21</sup>, al controllo dell'entità e della velocità dei movimenti, alla distribuzione delle pressioni interstiziali, alla valutazione dei parametri di resistenza residui e agli effetti conseguenti ad una accelerazione dei movimenti in condizioni sismiche.

Ai fini del controllo della stabilità si distinguono le seguenti situazioni:

- a) il caso in cui nell'ammasso siano presenti materiali liquefacibili;
- b) il caso in cui lo scorrimento avvenga lungo una superficie definita.

**1. Caso a)** - Deve essere valutato il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione  $F_L$  negli strati liquefacibili (vedi paragrafo A). Il valore ottenuto deve essere corretto moltiplicandolo per un fattore  $K_\alpha$ , che è funzione del rapporto

$$\alpha = \frac{\tau_{Hst}}{\sigma'_0}$$

dove  $\tau_{Hst}$  è lo sforzo di taglio in condizioni statiche e  $\sigma'_0$  la pressione efficace verticale. Il fattore  $K_\alpha$  vale:

per  $\alpha \leq 0.1$   $K_\alpha = 1$

per  $\alpha > 0.1$  e  $D_r > 45\%$   $K_\alpha = 1$

per  $0.1 \leq \alpha < 0.2$  e  $D_r < 45\%$   $K_\alpha = 0.7$

per  $0.2 \leq \alpha < 0.3$  e  $D_r < 45\%$   $K_\alpha = 0.5$

per  $0.3 \leq \alpha < 0.4$  e  $D_r < 45\%$   $K_\alpha = 0.25$

Nel caso in cui vi siano strati con  $K_\alpha < 1$  occorre valutare lo spostamento orizzontale del pendio (*lateral spreading*) . In prima approssimazione si può utilizzare l'espressione:

$$\text{Log}_{10}(D+0.01) = -6.815 + 1.017M - 0.278\text{Log}_{10}R - 0.026R + 0.454\text{Log}_{10}S + 0.558\text{Log}_{10}T_L$$

dove D è lo spostamento orizzontale (m); M è la magnitudo del terremoto di riferimento; R è la distanza ipocentrale del sito dall'ipocentro del terremoto atteso (km); S è la pendenza del pendio (%);  $T_L$  è lo spessore complessivo degli strati liquefacibili (m).

<sup>21</sup> E' importante sottolineare che in condizioni sismiche i volumi di frana non sono uguali a quelli che si hanno in condizioni statiche

**2. Caso b)** - Il controllo della stabilità dovrà essere effettuato in tutti i casi in cui eventuali movimenti del pendio e/o il superamento di una certa soglia di deformazione in condizioni sismiche può produrre effetti critici sulle sovrastanti costruzioni o nell'area circostante.

L'analisi verrà condotta con metodi pseudostatici e, nei pendii coesivi a comportamento duttile (indice di consistenza  $I_c < 0.5$ , grado di sovraconsolidazione  $OCR < 5$ , indice di plasticità  $> 26\%$ ), anche con metodi dinamici semplificati<sup>22</sup>.

Dovranno essere preliminarmente identificati la geometria del pendio, la profondità del substrato, la stratigrafia, il regime delle pressioni interstiziali, le proprietà geotecniche dei terreni costituenti i vari strati, l'entità e la posizione di eventuali carichi esterni. Nel caso di frane attive o quiescenti dovranno essere individuati il cinematismo di frana e la forma della superficie di potenziale scorrimento.

Per l'identificazione di tali elementi devono essere condotti accurati rilievi geologici di superficie, indagini geotecniche in sito e in laboratorio e devono essere installati strumenti per il monitoraggio delle pressioni interstiziali e degli spostamenti.

Il numero minimo di verticali di indagine deve essere tale da permettere una descrizione accurata della successione stratigrafica dei terreni interessati da cinematismi di collasso effettivi o potenziali, e, nel caso di pendii in frana, deve consentire di accertare forma e posizione della superficie, o delle superfici di scorrimento e definire i caratteri cinematici della frana. Le indagini devono essere estese oltre l'area direttamente interessata e dovranno avere una profondità superiore di alcuni metri al di sotto della superficie critica.

Dovranno essere effettuate analisi del pendio in condizioni statiche, sismiche e post-sismiche.

Particolare attenzione deve essere data alla determinazione della resistenza di picco e residua, in condizioni drenate e non drenate. Si assumeranno:

- condizioni drenate nella situazione pre-sisma,
- condizioni non drenate durante il sisma
- condizioni drenate in condizioni post-sisma.

---

<sup>22</sup> Vedi Linee Guida AGI, 2005, Appendice H. Per il calcolo dello spostamento nel caso di un pendio indefinito o di superficie di scorrimento piana si possono anche usare le seguenti espressioni empiriche, derivate dalla teoria del blocco rigido di Newmark (1965):

$$S = S_0 \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\cos \phi}$$

in cui  $\phi$  è l'angolo di resistenza al taglio sul piano di slittamento,  $\alpha$  è l'angolo di inclinazione della superficie di scorrimento e  $S_0$  è lo spostamento del blocco rigido sul piano orizzontale valutabile con la relazione:

$$S_{0(av)} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} e^{-9.4 \frac{a_c}{a_{max}}}$$

dove  $a_{max}$  = accelerazione massima del moto alla base del pendio (in g)

$v_{max}$  = velocità massima del moto alla base (cm/s)

$a_c$  =  $K_c g$  accelerazione critica

Si ricorda che  $K_c$  è il valore che assume il coefficiente sismico  $K$  quando il fattore di sicurezza  $F$  è uguale a 1. Tale valore può essere ricavato attraverso successive analisi pseudostatiche inverse in cui si riduce il coefficiente sismico fino a raggiungere la condizione  $F=1$ .

I valori di  $v_{max}$  possono essere valutati sulla base dei valori di  $a_{max}$  :

per  $a_{max}=0.35g$   $v_{max}= 0.40$  m/s

per  $a_{max}=0.25g$   $v_{max}= 0.30$  m/s

per  $a_{max}=0.15g$   $v_{max}= 0.15$  m/s

Nei pendii saturi occorre effettuare una stima iniziale delle pressioni interstiziali durante il terremoto in corrispondenza di alcune verticali significative e a varie profondità. L'incremento del rapporto interstiziale può essere valutato in modo approssimato con le seguenti espressioni:

- *terreni incoerenti* (vedi le formule riportate nel paragrafo B);
- *terreni coesivi* con l'espressione<sup>23</sup>:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_{v0}} = \beta \left[ \log \frac{\gamma_{max}}{\gamma_v} \right]$$

dove  $\sigma'_{v0}$  è il valore iniziale della pressione media efficace alla profondità considerata,  $\gamma_{max}$  è l'ampiezza della deformazione di taglio massima raggiunta al termine del terremoto (vedi paragrafo A),  $\beta = 0.45$  è un parametro sperimentale,  $\gamma_v$  è la soglia di deformazione volumetrica, che può essere determinata o con prove dinamiche cicliche o con l'espressione  $\gamma_v = A(OCR-1)+B$  dove A e B sono coefficienti sperimentali che dipendono dall'indice di plasticità  $I_p$  (Tabella 4).

Nei terreni coesivi saturi, se il rapporto di pressione interstiziale al termine del sisma è

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_{v0}} > 0.5 \text{ occorre valutare il decremento della resistenza non drenata con}$$

l'espressione:

$$\frac{c_u}{\sigma'_{v0}} = \frac{c_{u0}}{\sigma'_{v0}} \sqrt{\frac{\sigma'_{v0} - \Delta u}{\sigma'_{v0}}}$$

dove  $c_{u0}$  è la coesione non drenata in condizioni statiche e  $\sigma'_{v0}$  la pressione efficace verticale.

Nei terreni asciutti o nel caso in cui  $r_u < 0.5$  il decremento di resistenza è legato prevalentemente alla fatica del materiale per effetto delle azioni cicliche indotte dal terremoto e può essere valutato con l'espressione:

$$c_u(N) = c_{u0} \cdot \delta = c_{u0} \cdot N^{-t}$$

dove  $\delta$  è il coefficiente di degradazione ciclica ed N è il numero dei cicli equivalenti del terremoto (v. nota 7, paragrafo A). Il parametro di degradazione t è funzione della deformazione di taglio, dell'indice di plasticità e del grado di sovraconsolidazione. La degradazione della resistenza può essere determinata utilizzando le Tabelle 5 e 6.

### 3. Metodi pseudostatici

Dovranno essere applicati metodi pseudostatici globali o per conci, applicando alla massa potenzialmente in frana o ad ogni concio un'azione sismica proporzionale al relativo peso  $W$  pari a  $F_h = K_h W$  e  $F_v = K_v W$ , con  $K_h$  e  $K_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale.

<sup>23</sup> Vedi Linee Guida AGI, 2005, Cap. 8, Appendice F.

Si assumeranno i seguenti valori:  $K_h = 0,5 \cdot a_{gR} \cdot \gamma_1 \cdot /g$ , in direzione orizzontale, e  $K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$ , in direzione verticale, essendo  $a_{gR}$  l'accelerazione orizzontale di picco su roccia o su terreno rigido di riferimento,  $\gamma_1$  un coefficiente di importanza della eventuale sovrastante struttura,  $g$  l'accelerazione di gravità.

E' da notare che un valore di  $F_S = 1$  corrisponde ad una condizione di equilibrio limite o collasso incipiente mentre valori di  $F_S > 1$  individuano invece condizioni caratterizzate da un certo margine di sicurezza rispetto alle condizioni di collasso. Un valore di  $F_S > 1.2$  può essere ritenuto indicativo di una condizione di stabilità.

Nei pendii coesivi a comportamento duttile (indice di consistenza  $I_c < 0.5$ , grado di sovraconsolidazione  $OCR < 5$ , indice di plasticità  $> 0.26$ ) dovranno essere effettuate stime approssimate degli spostamenti o con metodi di analisi dinamica degli spostamenti a partire da un accelerogramma o ricorrendo a espressioni empiriche di letteratura (vedi nota 9).

#### **D) Stima dei cedimenti dei terreni granulari non saturi**

La compressione volumetrica dei terreni granulari non saturi in condizioni sismiche deve essere valutata sulla base di prove in sito e in laboratorio, esplorando un numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera e all'estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito.

Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

L'entità dei cedimenti per densificazione deve essere valutata in ognuna delle verticali esplorate, tenendo conto dell'amplificazione locale della risposta sismica.

Al fine di stimare il profilo dell' $a_{max}$  con la profondità  $z$  dovranno essere effettuate prove dinamiche in sito per la misura di  $V_s$  (del tipo DH o CH o SCPT o SDMT) e in laboratorio per la determinazione della curva di variazione del modulo di taglio  $G$  e del rapporto di smorzamento  $D$  con la deformazione di taglio  $\gamma$ . L'analisi della risposta sismica locale può essere omessa se nell'area sono stati già eseguiti studi di microzonazione di II livello che forniscano nel sito i valori di  $a_{max s}$  alla superficie del deposito. In tal caso i valori dell'accelerazione massima alle diverse quote possono essere ottenuti con l'espressione:

$$a_{max}(z) = a_{max s} \cdot r_d \quad \text{con } r_d = 1 - 0.015z$$

Per il calcolo dei cedimenti devono essere utilizzati metodi che tengano conto delle azioni indotte dal terremoto (in termini di accelerazione o di deformazioni tangenziali) e delle caratteristiche di addensamento del terreno (numero dei colpi  $N_{SPT}$ ,  $Dr$ ).

In prima approssimazione per la valutazione del cedimento  $\Delta H$  in un generico strato di altezza  $H$  può essere utilizzata la Tabella 7, che fornisce i valori del rapporto di compressione volumetrica  $\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H}$  in funzione dell'accelerazione  $a_{max}$  e del numero dei

colpi corretto  $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$  con  $C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$  essendo  $p_a$  la pressione atmosferica e  $\sigma'_v$  la pressione efficace verticale.

I risultati devono essere riportati in una carta dove, oltre alla perimetrazione dell'area indagata, devono essere indicati la localizzazione delle verticali esplorate e per ogni verticale il valore del cedimento totale cumulato.

Nel caso che al di sotto della falda vi siano terreni liquefacibili o suscettibili di significativi incrementi delle pressioni interstiziali durante l'evento sismico di riferimento, nella carta in corrispondenza di ogni verticale dovrà essere riportato il valore del cedimento totale relativo agli strati non saturi e agli strati sotto falda.

### **E) Stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi**

Nei depositi coesivi molto soffici ( $c_u \leq 70\text{kPa}$ ) e plastici ( $I_p \geq 30\%$ ) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento deve

essere valutata l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto. A tal fine dovranno essere condotte prove in sito e in laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei vari strati (in particolare attraverso prove indici e prove edometriche) esplorando un numero di verticali adeguato all'importanza dell'opera e alla estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito.

Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

L'entità dei cedimenti di riconsolidazione post-ciclica deve essere valutata in ognuna delle verticali esplorate.

In un generico strato di spessore  $H$  il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$\Delta H = \varepsilon_{vr} \cdot H$  dove  $H$  è l'altezza dello strato ed  $\varepsilon_{vr}$  (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale,  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 \cdot C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione e  $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  è il rapporto di pressione

interstiziale. In prima approssimazione  $C_c$  può essere stimato con la relazione empirica:

$$C_c = 0.0348 + 0.0162 \cdot I_p$$

Se lo studio di microzonazione è finalizzato alla realizzazione di un importante manufatto il calcolo dei cedimenti deve essere condotto tenendo conto della presenza dell'opera. In tal caso deve essere considerato anche il cedimento immediato (che può ritenersi trascurabile in assenza di strutture).

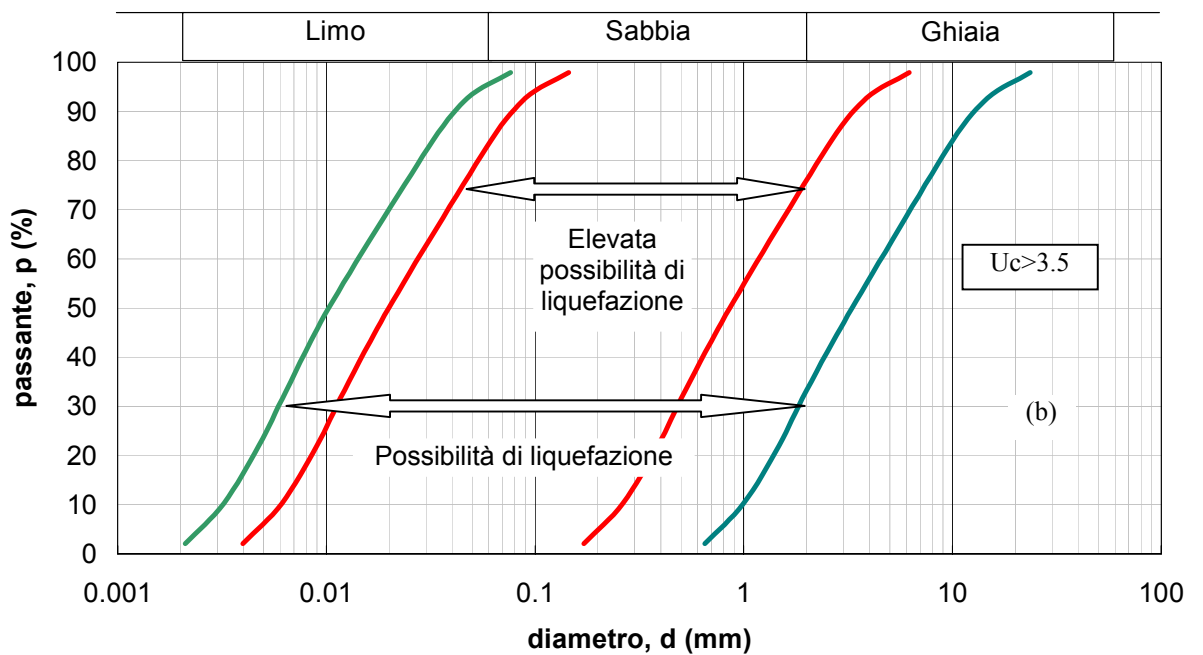
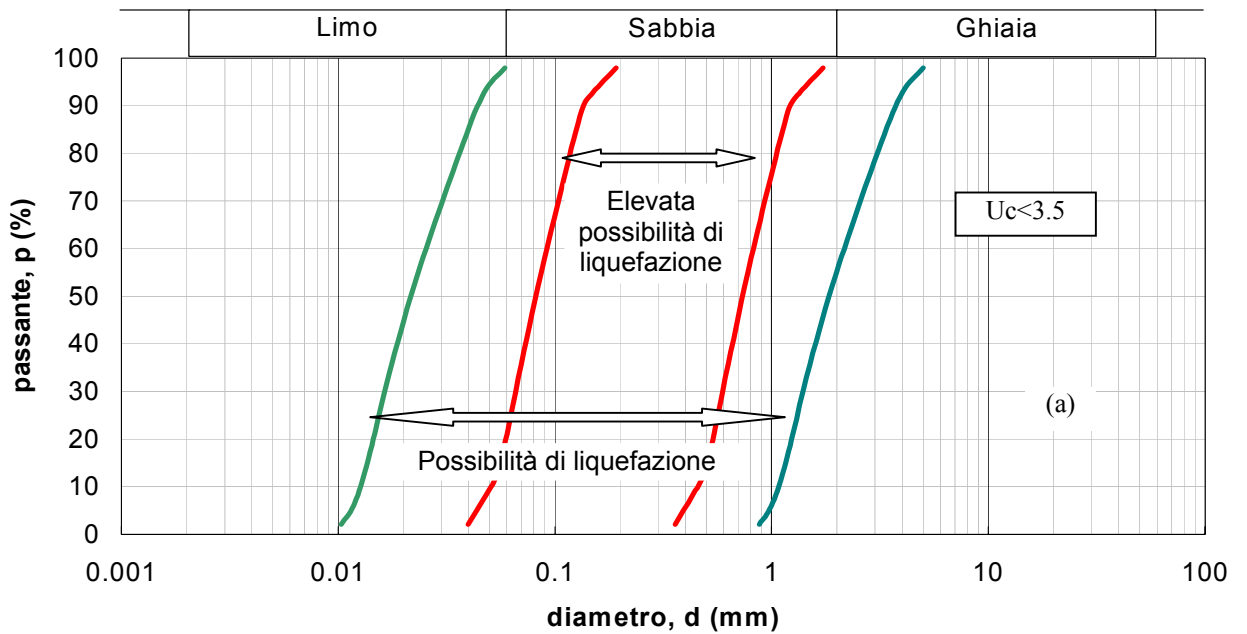
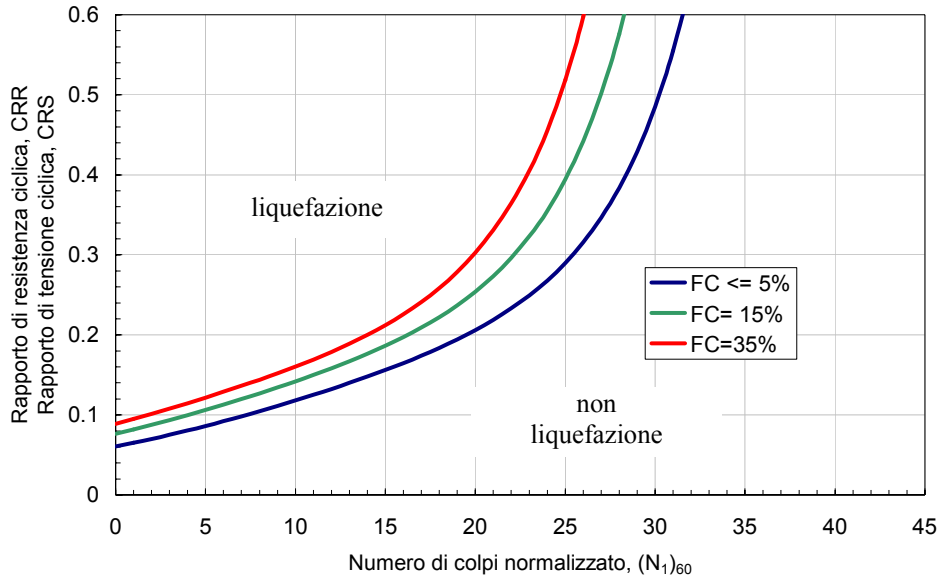


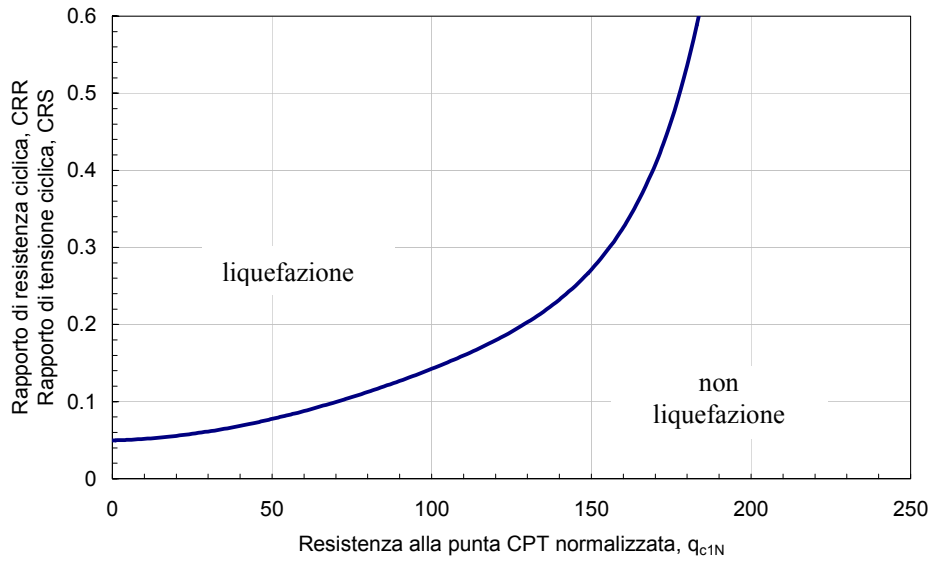
Figura 1 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005)



$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$  dove:

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}}$$

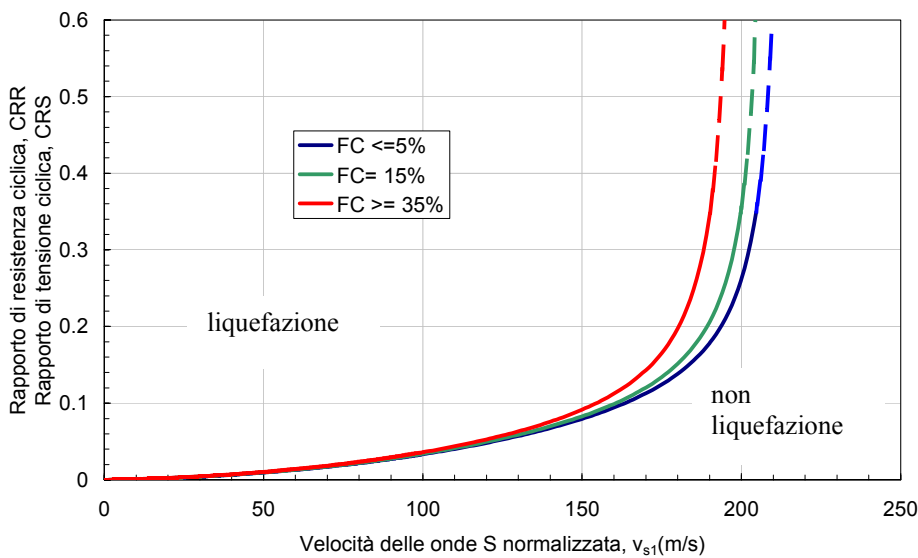
$C_N$  non deve superare il valore di 1,7 e  $p_a$  (pressione atmosferica  $\cong 100$  kPa) e  $\sigma'_v$  devono avere le stesse unità di misura e  $C_E C_B C_R C_S \approx 1$



$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

dove  $p_a$ ,  $q_c$  (pressione atmosferica di riferimento  $\cong 100$  kPa) e  $\sigma'_v$  sono espresse nelle stesse unità di misura ed è

$$C_Q = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294 (q_{c1N})^{0.264}}$$



$$v_{s1} = C_V v_S$$

dove  $p_a$  (pressione atmosferica di riferimento  $\cong 100$  kPa) e  $\sigma'_v$  sono espresse nelle stesse unità di misura ed è

$$C_V = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$



Figura 2 - Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione  $CRR$  di un terreno sabbioso saturo in funzione della percentuale di fini FC e sulla base dei valori di  $N_{SPT}$ ,  $q_c$  e  $V_S$  corretti

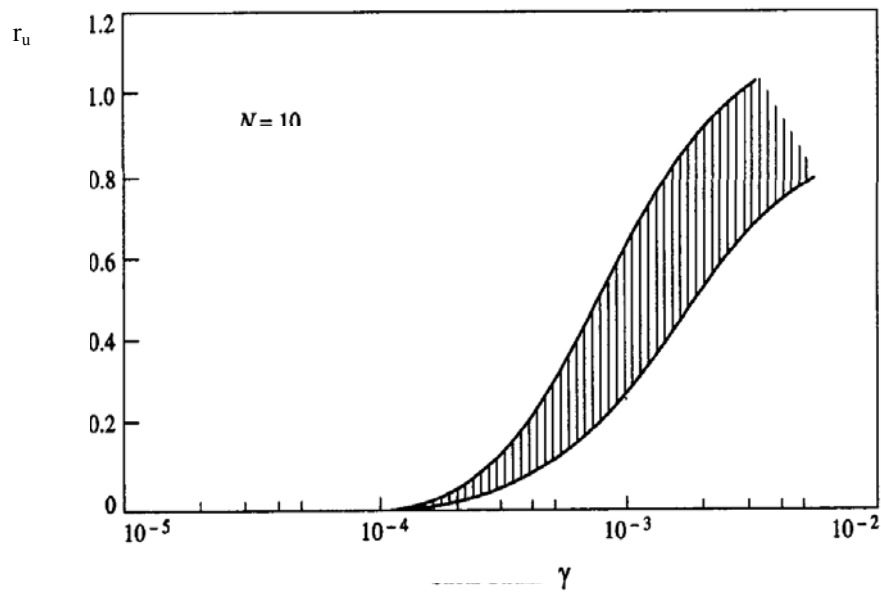


Figura 3 –Valore del rapporto di pressione interstiziale  $r_u$  in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto  $\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$

Tabella 1 - Fattore di correzione MSF (Seed e Idriss, 1982)

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

Tabella 2 –Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Tabella 3 –Fattore di riduzione del modulo di taglio G nei primi 20 m in funzione dell'accelerazione  $a_{maxs}$

$a_{maxs}$ [g]	G/G <sub>0</sub>
0.10	0.80
0.20	0.50
0.30	0.35
0.40	0.28

Tabella 4 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

$I_p$ (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

Tabella 5 – Valori del parametro di degradazione t per i terreni coesivi in funzione della ampiezza della deformazione di taglio  $\gamma$ , dell'indice di plasticità  $I_p$  e del grado di sovraconsolidazione OCR

$\gamma$ [%]	$I_p$ [%]	OCR=1	OCR=2	OCR=4
1	10÷24	0.25	0.12	0.03
1	25÷60	0,07	0.06	0.02
2	10÷24	0.3÷0.35	0.20	0.15
2	25÷60	0.09	0.08	0.07

Tabella 6 – Valori del numero di cicli equivalenti corrispondenti ad un'ampiezza dello sforzo di taglio pari a  $0.65 \tau_{max} = 0.65 a_{max} \sigma_{vd} / (gG)$  ( $a_{max}$  è misurato in g)

Magnitudo	Numero dei cicli equivalenti	Accelerazione [g]
5.25	2-3	0.15
6.0	5	0.25
6.5	8	0.30
7.0	12	0.35
7.5	15	0.45

Tabella 7 – Valori del rapporto di compressione volumetrica  $\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H}$  in funzione dell'accelerazione  $a_{max}$  e del numero dei colpi corretto  $(N_1)_{60}$

$a_{max}$ [g]	$\varepsilon_v$		
	$(N_1)_{60} = 10$	$(N_1)_{60} = 20$	$(N_1)_{60} = 40$
0.05	0.02	0.01	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.02	-
0.20	0.07	0.03	0.005
0.25	0.12	0.04	0.007
0.30	0.15	0.05	0.010
0.35	0.18	0.06	0.015
0.40	0.23	0.075	0.02

**ALLEGATO A4****SPETTRI DI RISPOSTA RAPPRESENTATIVI E SEGNALI DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE NELLE ANALISI DI TERZO LIVELLO**

I presenti indirizzi dispongono che il calcolo delle risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello sia eseguito sulla base di segnali di riferimento assegnati ad ogni comune. Tali segnali sono rappresentativi dello scuotimento atteso su un suolo di riferimento, quest'ultimo inteso come la superficie al di sotto della quale si può assumere una velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) superiore o uguale a 800 m/s.

Per la definizione del moto di riferimento<sup>24</sup>, nel presente allegato vengono riportati:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna (figura 1 e tabella 1);
- i valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni comune dell'Emilia-Romagna (tabella 2);
- indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

**Spettri di risposta**

Dallo spettro di risposta normalizzato (figura 1 e tabella 1) è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune (tabella 2), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

In tabella 1 sono riportati i valori che definiscono tale spettro.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio  $T$ , espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  (pari a  $9.81m/s^2$ ), al corrispondente periodo  $T$ .

---

<sup>24</sup> E' da osservare che i segnali di riferimento così definiti possono essere utilizzati, a differenza delle Tabelle e delle indicazioni dell'Allegato 2 che servono solo per la valutazione comparativa della pericolosità sismica alla scala della pianificazione urbanistica, anche per la valutazione della risposta sismica locale alla scala di manufatto.

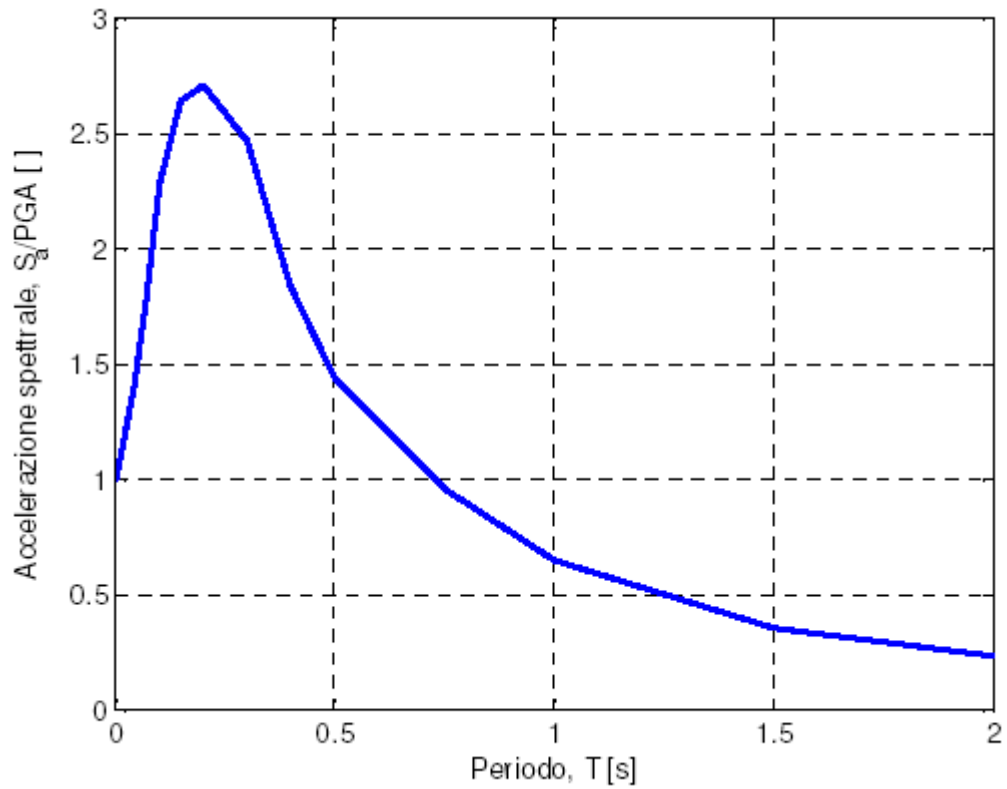


Figura 1 - Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna

T (s)	Sa/a <sub>ref</sub>
0,00000	1,00000
0,04000	1,38865
0,07000	1,75927
0,10000	2,28349
0,15000	2,63726
0,20000	2,70745
0,30000	2,46642
0,40000	1,84047
0,50000	1,44476
0,75000	0,95494
1,00000	0,64546
1,50000	0,35479
2,00000	0,23070

Tabella 1 – Valori che definiscono lo spettro normalizzato previsto per l'Emilia-Romagna (si veda anche figura 1)

Nella tabella 2 sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della regione.

Tabella 2 – valori di  $a_{refg}$  per i comuni dell'Emilia-Romagna

Provincia	Comune	$a_{refg}$
BO	Anzola dell'Emilia	0.163
BO	Argelato	0.161
BO	Baricella	0.161
BO	Bazzano	0.163
BO	Bentivoglio	0.161
BO	Bologna	0.166
BO	Borgo Tossignano	0.206
BO	Budrio	0.174
BO	Calderara di Reno	0.165
BO	Camugnano	0.181
BO	Casalecchio di Reno	0.164
BO	Casalfiumanese	0.207
BO	Castel d'Aiano	0.161
BO	Castel del Rio	0.205
BO	Castel di Casio	0.185
BO	Castel Guelfo di Bologna	0.195
BO	Castel Maggiore	0.166
BO	Castel San Pietro Terme	0.199
BO	Castello d'Argile	0.158
BO	Castello di Serravalle	0.161
BO	Castenaso	0.175
BO	Castiglione dei Pepoli	0.191
BO	Crespellano	0.163
BO	Crevalcore	0.157
BO	Dozza	0.205
BO	Fontanelice	0.207
BO	Gaggio Montano	0.181
BO	Galliera	0.156
BO	Granaglione	0.200
BO	Granarolo dell'Emilia	0.170
BO	Grizzana Morandi	0.164
BO	Imola	0.205
BO	Lizzano in Belvedere	0.188
BO	Loiano	0.171
BO	Malalbergo	0.157
BO	Marzabotto	0.161
BO	Medicina	0.185
BO	Minerbio	0.162
BO	Molinella	0.163

BO	Monghidoro	0.176
BO	Monte San Pietro	0.163
BO	Monterenzio	0.180
BO	Monteveglia	0.163
BO	Monzuno	0.166
BO	Mordano	0.192
BO	Ozzano dell'Emilia	0.183
BO	Pianoro	0.169
BO	Pieve di Cento	0.158
BO	Porretta Terme	0.193
BO	Sala Bolognese	0.161
BO	San Benedetto Val di Sambro	0.168
BO	San Giorgio di Piano	0.161
BO	San Giovanni in Persiceto	0.161
BO	San Lazzaro di Savena	0.172
BO	San Pietro in Casale	0.158
BO	Sant'Agata Bolognese	0.159
BO	Sasso Marconi	0.162
BO	Savigno	0.160
BO	Vergato	0.160
BO	Zola Predosa	0.163
FC	Bagno di Romagna	0.206
FC	Bertinoro	0.205
FC	Borghi	0.187
FC	Castrocaro Terme e Terra del Sole	0.209
FC	Cesena	0.195
FC	Cesenatico	0.179
FC	Civitella di Romagna	0.210
FC	Dovadola	0.211
FC	Forlì	0.205
FC	Forlimpopoli	0.201
FC	Galeata	0.210
FC	Gambettola	0.190
FC	Gatteo	0.186
FC	Longiano	0.191
FC	Meldola	0.208
FC	Mercato Saraceno	0.195
FC	Modigliana	0.211
FC	Montiano	0.194
FC	Portico e San Benedetto	0.210
FC	Predappio	0.210
FC	Premilcuore	0.209
FC	Rocca San Casciano	0.211
FC	Roncofreddo	0.189



FC	San Mauro Pascoli	0.185
FC	Santa Sofia	0.209
FC	Sarsina	0.199
FC	Savignano sul Rubicone	0.186
FC	Sogliano al Rubicone	0.188
FC	Tredozio	0.211
FC	Verghereto	0.207
FE	Argenta	0.160
FE	Berra	0.064
FE	Bondeno	0.130
FE	Cento	0.157
FE	Codigoro	0.079
FE	Comacchio	0.103
FE	Copparo	0.092
FE	Ferrara	0.132
FE	Formignana	0.106
FE	Goro	0.063
FE	Jolanda di Savoia	0.080
FE	Lagosanto	0.097
FE	Masi Torello	0.132
FE	Massa Fiscaglia	0.098
FE	Mesola	0.062
FE	Migliarino	0.126
FE	Migliaro	0.107
FE	Mirabello	0.145
FE	Ostellato	0.133
FE	Poggio Renatico	0.155
FE	Portomaggiore	0.152
FE	Ro	0.084
FE	Sant'Agostino	0.153
FE	Tresigallo	0.114
FE	Vigarano Mainarda	0.141
FE	Voghiera	0.146
MO	Bastiglia	0.157
MO	Bomporto	0.157
MO	Campogalliano	0.162
MO	Camposanto	0.155
MO	Carpi	0.154
MO	Castelfranco Emilia	0.163
MO	Castelnuovo Rangone	0.163
MO	Castelvetro di Modena	0.162
MO	Cavezzo	0.150
MO	Concordia sulla Secchia	0.127
MO	Fanano	0.179

MO	Finale Emilia	0.149
MO	Fiorano Modenese	0.162
MO	Fiumalbo	0.198
MO	Formigine	0.163
MO	Frassinoro	0.178
MO	Guiglia	0.160
MO	Lama Mocogno	0.161
MO	Maranello	0.163
MO	Marano sul Panaro	0.161
MO	Medolla	0.150
MO	Mirandola	0.141
MO	Modena	0.163
MO	Montecreto	0.178
MO	Montefiorino	0.161
MO	Montese	0.162
MO	Nonantola	0.160
MO	Novi di Modena	0.139
MO	Palagano	0.164
MO	Pavullo nel Frignano	0.159
MO	Pievepelago	0.194
MO	Polinago	0.161
MO	Prignano sulla Secchia	0.158
MO	Ravarino	0.157
MO	Riolunato	0.185
MO	San Cesario sul Panaro	0.162
MO	San Felice sul Panaro	0.150
MO	San Possidonio	0.140
MO	San Prospero	0.154
MO	Sassuolo	0.162
MO	Savignano sul Panaro	0.163
MO	Serramazzoni	0.159
MO	Sestola	0.177
MO	Soliera	0.158
MO	Spilamberto	0.163
MO	Vignola	0.163
MO	Zocca	0.159
PC	Agazzano	0.099
PC	Alseno	0.139
PC	Besenzone	0.110
PC	Bettola	0.113
PC	Bobbio	0.102
PC	Borgonovo Val Tidone	0.096
PC	Cadeo	0.110
PC	Calendasco	0.090

PC	Caminata	0.098
PC	Caorso	0.092
PC	Carpaneto Piacentino	0.112
PC	Castel San Giovanni	0.094
PC	Castell'Arquato	0.133
PC	Castelvetro Piacentino	0.084
PC	Cerignale	0.105
PC	Coli	0.105
PC	Corte Brugnatella	0.106
PC	Cortemaggiore	0.105
PC	Farini	0.126
PC	Ferriere	0.128
PC	Fiorenzuola d'Arda	0.127
PC	Gazzola	0.099
PC	Gossolengo	0.097
PC	Gragnano Trebbiense	0.097
PC	Gropparello	0.116
PC	Lugagnano Val d'Arda	0.133
PC	Monticelli d'Ongina	0.084
PC	Morfasso	0.143
PC	Nibbiano	0.098
PC	Ottone	0.105
PC	Pecorara	0.099
PC	Piacenza	0.092
PC	Pianello Val Tidone	0.098
PC	Piozzano	0.099
PC	Podenzano	0.101
PC	Ponte dell'Olio	0.107
PC	Pontenure	0.098
PC	Rivergaro	0.101
PC	Rottofreno	0.094
PC	San Giorgio Piacentino	0.101
PC	San Pietro in Cerro	0.101
PC	Sarmato	0.094
PC	Travo	0.102
PC	Vernasca	0.140
PC	Vigolzone	0.103
PC	Villanova sull'Arda	0.104
PC	Zerba	0.102
PC	Ziano Piacentino	0.096
PR	Albareto	0.195
PR	Bardi	0.172
PR	Bedonia	0.189
PR	Berceto	0.188

PR	Bore	0.153
PR	Borgo Val di Taro	0.201
PR	Busseto	0.119
PR	Calestano	0.159
PR	Collecchio	0.154
PR	Colorno	0.094
PR	Compiano	0.195
PR	Corniglio	0.189
PR	Felino	0.156
PR	Fidenza	0.149
PR	Fontanellato	0.140
PR	Fontevivo	0.145
PR	Fornovo di Taro	0.157
PR	Langhirano	0.157
PR	Lesignano de' Bagni	0.157
PR	Medesano	0.155
PR	Mezzani	0.091
PR	Monchio delle Corti	0.198
PR	Montechiarugolo	0.156
PR	Neviano degli Arduini	0.158
PR	Noceto	0.152
PR	Palanzano	0.187
PR	Parma	0.139
PR	Pellegrino Parmense	0.157
PR	Polesine Parmense	0.101
PR	Roccabianca	0.091
PR	Sala Baganza	0.156
PR	Salsomaggiore Terme	0.152
PR	San Secondo Parmense	0.118
PR	Sissa	0.097
PR	Solignano	0.165
PR	Soragna	0.132
PR	Sorbolo	0.113
PR	Terenzo	0.160
PR	Tizzano Val Parma	0.163
PR	Tornolo	0.188
PR	Torrile	0.100
PR	Traversetolo	0.157
PR	Trecasali	0.108
PR	Valmozzola	0.187
PR	Varano de' Melegari	0.157
PR	Varsi	0.162
PR	Zibello	0.098
RA	Alfonsine	0.161

RA	Bagnacavallo	0.181
RA	Bagnara di Romagna	0.193
RA	Brisighella	0.210
RA	Casola Valsenio	0.209
RA	Castel Bolognese	0.206
RA	Cervia	0.174
RA	Conselice	0.174
RA	Cotignola	0.186
RA	Faenza	0.205
RA	Fusignano	0.173
RA	Lugo	0.185
RA	Massa Lombarda	0.183
RA	Ravenna	0.163
RA	Riolo Terme	0.208
RA	Russi	0.184
RA	Sant'Agata sul Santerno	0.182
RA	Solarolo	0.200
RE	Albinea	0.160
RE	Bagnolo in Piano	0.148
RE	Baiso	0.158
RE	Bibbiano	0.156
RE	Boretto	0.088
RE	Brescello	0.088
RE	Busana	0.188
RE	Cadelbosco di Sopra	0.138
RE	Campagnola Emilia	0.140
RE	Campegine	0.130
RE	Canossa	0.158
RE	Carpinetti	0.159
RE	Casalgrande	0.162
RE	Casina	0.158
RE	Castellarano	0.161
RE	Castelnovo di Sotto	0.117
RE	Castelnovo ne' Monti	0.165
RE	Cavriago	0.155
RE	Collagna	0.197
RE	Correggio	0.152
RE	Fabbrico	0.134
RE	Gattatico	0.119
RE	Gualtieri	0.095
RE	Guastalla	0.096
RE	Ligonchio	0.199
RE	Luzzara	0.091
RE	Montecchio Emilia	0.152

RE	Novellara	0.135
RE	Poviglio	0.108
RE	Quattro Castella	0.158
RE	Ramiseto	0.179
RE	Reggio nell'Emilia	0.157
RE	Reggiolo	0.118
RE	Rio Saliceto	0.147
RE	Rolo	0.137
RE	Rubiera	0.162
RE	San Martino in Rio	0.158
RE	San Polo d'Enza	0.158
RE	Sant'Ilario d'Enza	0.140
RE	Scandiano	0.162
RE	Toano	0.162
RE	Vetto	0.162
RE	Vezzano sul Crostolo	0.159
RE	Viano	0.160
RE	Villa Minozzo	0.170
RN	Bellaria-Igea Marina	0.182
RN	Cattolica	0.183
RN	Coriano	0.184
RN	Gemmano	0.181
RN	Misano Adriatico	0.184
RN	Mondaino	0.184
RN	Monte Colombo	0.181
RN	Montefiore Conca	0.183
RN	Montegridolfo	0.184
RN	Montescudo	0.180
RN	Morciano di Romagna	0.184
RN	Poggio Berni	0.183
RN	Riccione	0.183
RN	Rimini	0.183
RN	Saludecio	0.184
RN	San Clemente	0.185
RN	San Giovanni in Marignano	0.184
RN	Santarcangelo di Romagna	0.185
RN	Torriana	0.181
RN	Verucchio	0.182

## Segnali di riferimento

I segnali di riferimento forniti (disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) ) sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion database” (<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/> nel seguito citata come ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni di figura 1) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

I files con i segnali di riferimento sono distribuiti come archivi compressi attraverso il metodo zip<sup>25</sup>. Ogni archivio .zip contiene i tre segnali già scalati per il comune a cui si riferiscono. Ad esempio, il file `nomecomunecodiceISTATcomune.zip` contiene i segnali `(000046xa_codiceISTATcomunenomecomune.xy, 000126xa_codiceISTATcomunenomecomune.xy e 000354xa_codiceISTATcomunenomecomune.xy)` da impiegare per le analisi di terzo livello nel comune in questione, scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di  $a_{refg}$  del comune.

Il nome di ogni file contenente un segnale è composto dall’ID dell’evento (secondo il formato ISESD) e dal nome del comune in cui il segnale deve essere impiegato. Ad esempio, il file `000354xa_040001bagnodiromagna.xy`, include la registrazione lungo la componente `xa` del segnale con ID `000354` (contenuto nella banca ISESD) opportunamente scalata in modo che il valore di accelerazione massima corrisponda a quello del comune di Bagno di Romagna.

Ogni file con un segnale di riferimento contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione, espresso in frazioni dell’accelerazione di gravità  $g$  (pari a  $9.81\text{m/s}^2$ ) al tempo  $t$ .

A titolo d’esempio si riporta un estratto di un file; i valori contenuti nella colonna di sinistra (es. 10.725, 10.730, ecc.) corrispondono al tempo trascorso dall’inizio della registrazione mentre i valori nella colonna di destra sono i valori di accelerazione misurati al corrispondente valore di tempo  $t$ .

```
10.725 -0.00414
10.730 -0.00368
10.735 -0.00232
10.740 -0.00047
```

\* \* \* \*

MCC/dn

<sup>25</sup> Uno strumento open-source per l’apertura di questi files è reperibile all’indirizzo <http://www.7-zip.org/>

*o m i s s i s*

---

LA PRESIDENTE : f.to Monica Donini

I SEGRETARI : f.to Enrico Aimi - Matteo Richetti

---

2 maggio 2007

E' copia conforme all'originale.

LA RESPONSABILE DEL SERVIZIO

(Maria Cristina Coliva)