



È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa



## COMUNE DI MILANO

### MERCATO AGROALIMENTARE DELLA CITTÀ DI MILANO

#### PIATTAFORMA LOGISTICA ORTOFRUTTA

#### PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

### RELAZIONE SISMICA

| IL DIRETTORE TECNICO<br>DOTT. ING. Francesco Venza<br>Ordine degli Ingegneri Milano n° 14647<br> |            | IL PROGETTISTA RESPONSABILE<br>DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE<br>PRESTAZIONI SPECIALISTICHE<br>DOTT. ING. Andrea Pasquale Costa<br>Ordine degli Ingegneri Milano n°<br>A22465<br> |            | IL PROGETTISTA RESPONSABILE<br>DOTT. ING. ANTONELLA ANTONELLI<br>ANTONELLI ANTONELLA<br>Ordine degli Ingegneri Milano n° A29226<br>Settori:<br>a) civile e ambientale<br>b) industriale<br>c) dell'informazione<br>n° A 29226<br> |                             |             |
|---|------------|--|------------|--|-----------------------------|-------------|
|   |            |  |            |  |                             |             |
|   |            |  |            |  |                             |             |
| 6   | SET 2019   | PROGETTO VALIDATO  | A. ARIENTI | A. ARIENTI   | F. CAMPANALE<br>M. MANGIONE | A.<br>COSTA |
| 3   | LUG 2019   | PROGETTO DEFINITIVO PER<br>APPALTO INTEGRATO   |            |  |                             | A.<br>COSTA |
| 0   | 28/05/2019 | EMISSIONE  | A. ARIENTI | A. ARIENTI   | F. CAMPANALE<br>M. MANGIONE | A.<br>COSTA |
| Aggiorn.  | Data       | Descrizione  | Redatto    | Verificato   | Acquisito                   | Approvato   |

COLLABORAZIONE  
ALLA PROGETTAZIONE:

CODIFICA  
DOCUMENTO

Commissa  
**YB00**

Lotto  
**1**

Fase  
**D**

Categoria  
**R**

Opera  
**RE**

Progressivo

**0099**

PAGINE TOTALI **6**



## INDICE DEI CONTENUTI

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. introduzione</b> .....   | <b>3</b>  |
| 1.1. <i>Oggetto e scopo</i> .....                                    | 3         |
| 1.2. <i>Normativa di riferimento</i> .....                           | 3         |
| 1.3. <i>Considerazioni generali sulla norma vigente</i> .....        | 4         |
| 1.4. <i>Riferimenti topografici</i> .....                            | 5         |
| 1.5. <i>Inquadramento geologico regionale</i> .....                  | 5         |
| 1.6. <i>Indagine geotecnica di riferimento</i> .....                 | 6         |
| 1.7. <i>inquadramento stratigrafico locale</i> .....                 | 7         |
| <b>2. inquadramento geotettonico e sismico</b> .....                 | <b>8</b>  |
| <b>3. pericolosità sismica</b> .....                                 | <b>12</b> |
| 3.1. <i>Indicatori di pericolosità sismica</i> .....                 | 12        |
| 3.2. <i>Vita nominale e tempo di ritorno</i> .....                   | 12        |
| 3.3. <i>Tempo di ritorno dell'evento sismico</i> .....               | 13        |
| 3.4. <i>Accelerazione massima su suolo tipo "A"</i> .....            | 15        |
| 3.5. <i>Accelerazione massima – opere provvisorie</i> .....          | 17        |
| <b>4. Magnitudo</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>5. effetti di sito</b> .....                                      | <b>21</b> |
| 5.1. <i>Effetti di amplificazione locale</i> .....                   | 21        |
| 5.2. <i>Effetti stratigrafici (parametro <math>S_s</math>)</i> ..... | 21        |
| 5.3. <i>Effetti topografici (parametro <math>S_T</math>)</i> .....   | 25        |
| 5.4. <i>Pericolosità sismica locale</i> .....                        | 26        |
| 5.5. <i>Accelerazione massima al sito</i> .....                      | 30        |
| <b>6. stabilità del sito di costruzione</b> .....                    | <b>31</b> |
| 6.1. <i>stabilità dei versanti</i> .....                             | 31        |
| 6.2. <i>potenziale di liquefazione</i> .....                         | 31        |



## 1. INTRODUZIONE

---

### 1.1. OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione sismica generale dei terreni di fondazione interessati progetto di riqualificazione dell'area dei "Mercati Generali" ubicati nell'area est della città di Milano.

Nello specifico, oltre ad un inquadramento sismologico del territorio interessato dall'intervento, vengono forniti gli elementi di base per la progettazione nel rispetto delle Normativa Vigente:

- ✓ Definizione della Vita Nominale e Classe d'Uso delle opere, cui consegue la determinazione dei periodi di riferimento per l'azione sismica;
- ✓ Individuazione delle zone sismiche di riferimento e dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$ , sulla base dei quali viene definita la pericolosità sismica;
- ✓ Individuazione delle categorie di suolo di fondazione, sulla base della campagna geognostica condotta sul sito e delle condizioni topografiche.

### 1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si fa riferimento alla Normativa Vigente nazionale (DM 14/01/2008 e relative "Istruzioni") e regionale come di seguito elencato:

- ✓ D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»."
- ✓ CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- ✓ Delibera della Giunta Regionale della Lombardia n. 14964 del 7/11/2003 "Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 Marzo 2003 'Primi elementi in materia di criteri generali



*per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.*

- ✓ Decreto Giunta Regionale della Lombardia 19904 del 21/11/2003 “*Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all’art.2, commi 3 e 4 dell’Ordinanza PCM n.3274 del 20 Marzo 2003 in attuazione della DGR 14964 del 7/11/2003*”
- ✓ Circolare Giunta Regionale Regione Lombardia – Prevenzione e protezione civile – “*DM 14 settembre 2005 Norme tecniche per le costruzioni – Gazzetta ufficiale n.222 del 23 settembre 2005 – supplemento ordinario n.159 – Comuni di nuova classificazione sismica: applicazione art.104 del DPR380/2001*” Prot. 11.2005.11368 del 5/12/2005
- ✓ B.U.R.L n. X/2129 del 11 luglio 2014 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”.
- ✓ D.G.R. n. X/5001 del 30 marzo 2016 - B.U.R.L. S.O. n. 14 del 7 aprile 2016 “*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*”.

Per aspetti non trattati si considera anche la norma Europea (Eurocodici)

- ✓ UNI EN 1998-1:2005 “*Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*”.
- ✓ UNI-EN 1998-5:2005 “*Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*”.

### **1.3. CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA NORMA VIGENTE**

Rimandando per i dettagli al seguente capitolo n.2 è possibile osservare che il territorio interessato dall’intervento (sito nel comune di Milano) non era considerato tra quelli sismici secondo la *vecchia normativa sismica* (DM del 5/3/84 e D.M. 24/01/1986).



La nuova *Classificazione Sismica* (Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/03 corretta ed integrata con OPCM 3431/05 del 3 Maggio 2005) che ha in parte recepito i risultati e le indicazioni scaturite dai vari studi e/o progetti di neotettonica eseguiti nell'ultimo decennio e/o in corso, ha portato ad una riclassificazione dell'intero territorio italiano e quindi anche di quello regionale lombardo.

Il nuovo testo delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC), di cui al D.M. 17 gennaio 2018, pubblicato il 20 febbraio 2018 (nel Suppl. Ordinario n. 42 alla G.U.) è entrato in vigore a partire dal 20 marzo 2018 sostituendo integralmente le norme approvate con il decreto ministeriale D.M. 14 gennaio 2008.

#### **1.4. RIFERIMENTI TOPOGRAFICI**

Il territorio interessato dall'intervento è tipicamente urbano con p.c. locale variabile tra un minimo di circa +109.00m s.l.m nella zona sud ovest ed un massimo di circa +110.00m s.l.m a nord-est.

In particolare, lungo l'area di intervento:

- Il piano campagna locale odierno è variabile tra +110.10m a nord e +110.04m a sud;
- Il piano campagna locale futuro si presenta a quota di circa +110.10m s.l.m.

#### **1.5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE**

La geologia della *Pianura Padana* risente degli effetti delle glaciazioni che si sono succedute in epoca Pleistocenica. In particolare l'area milanese presenta in **affioramento** l'unità geologica individuata con il nome di "*Fluvio-glaciale Wurm*" caratterizzata da un potente (circa 70m) deposito di ghiaie e sabbie in matrice limosa con locali lenti di argilla. Tale unità costituisce il cosiddetto "*livello fondamentale della pianura*" e presenta un aumento dei termini più fini passando dal settore settentrionale a quello meridionale dovuto alla progressiva riduzione dell'energia di trasporto e di deposizione.



Il **substrato** è costituito da formazioni sedimentarie *pre-plioceniche* e risulta affiorante solo raramente e nelle zone più settentrionali della provincia.

Tra substrato e copertura fluvio-glaciale sono individuabili (nell'ambito della pianura) le seguenti principali unità geologiche sulle quali, tuttavia, non ci si sofferma in quanto non verranno interessate dalle opere in progetto.

- ✓ *Unità Villafranchiana* ("argille sotto il Ceppo"): costituita da argille, limi e torbe spesso fossilifere.
- ✓ *Unità del Ceppo*: costituita da arenarie e conglomerati da molto cementati a passanti a ghiaie debolmente cementate.
- ✓ *Morenico Mindel*: costituito da limo inglobante materiali ciottolosi, sabbiosi ed argillosi molto alterato in superficie.
- ✓ *Fluvio-glaciale Mindel*: costituito da ciottoli arrotondati in matrice argilloso-sabbiosa di colore giallastro-rossiccio.
- ✓ *Morenico Riss*: costituito da deposito caotici ghiaiosi e sabbiosi in abbondante matrice argillosa inglobanti blocchi e trovanti provenienti dall'arco alpino.
- ✓ *Fluvio-glaciale Riss*: costituito da ciottoli arrotondati in matrice sabbiosa di colore giallo-ocraceo.
- ✓ *Morenico Wurm*: costituito da ghiaie, ciottoli e limi con truttura caotica spesso inglobanti massi erratici.

## **1.6. INDAGINE GEOTECNICA DI RIFERIMENTO**

Tutte le considerazioni di cui al seguito sono riferite ai risultati di una specifica campagna di indagine geognostica eseguita nell'ambito del progetto nonché alle risultanze di indagini pregresse eseguite nelle vicinanze dell'area interessata



dall'intervento; per i dettagli in merito all'ubicazione delle prove ed ai risultati ottenuti si rimanda all'apposito "*Rapporto delle indagini*" nonché alla "*Relazione Geotecnica*".

### **1.7. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO LOCALE**

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici consente di indicare (per maggiori dettagli si rimanda alla "*Relazione Geotecnica*") che il terreno naturale in sito è costituito sostanzialmente da terreni granulari ovvero da ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa e da sabbia limosa.

I primi 3.0÷3.5m sono costituiti da limo da sabbioso ad argilloso generalmente consistente e sabbia fine limosa di colore marrone; tale materiale è stato generalmente sostituito in tutto o in parte con riporti antropici generalmente costituiti da limo sabbioso, sabbia e ghiaia con frammenti di laterizi e ciottoli.

Tra 8 e 12m di profondità è stata riscontrata la presenza di un livello di limo discontinuo di spessore variabile tra 0.5 e 1.5m di colore generalmente grigio a volte torboso. In alcuni sondaggi è stata, inoltre, riscontrata la presenza di un secondo livello limoso di spessore prossimo al metro a profondità variabile tra 16 e 20m dal p.c. locale.

A partire dai 20m circa di profondità lo stato di addensamento del terreno aumenta considerevolmente e la matrice diventa francamente ghiaiosa.

La soggiacenza della falda evidenzia una piezometrica caratterizzata da forti oscillazioni stagionali e di lungo periodo. Il livello attuale (dicembre 2014 – Piezometro ACQ14) si assesta intorno a quota +103.55m ciò che comporta soggiacenze comprese tra 5.45 ed 6.45m in funzione della quota del p.c. locale.

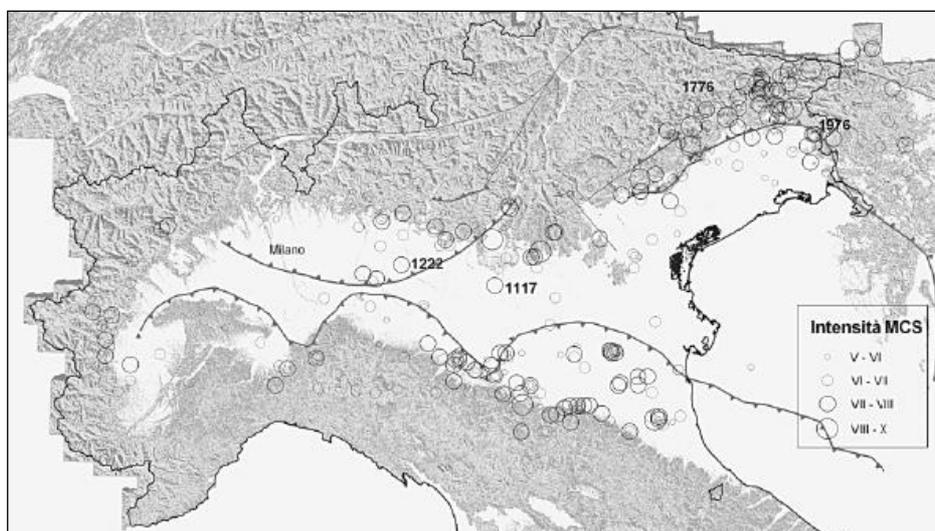


## 2. INQUADRAMENTO GEOTETTONICO E SISMICO

L'assetto geostrutturale della Pianura Padana è quindi stato fortemente condizionato dalla presenza delle due catene delle Alpi Meridionali e dell'Appennino. L'attività tettonica lungo le due catene ha prodotto, e ancora produce, deformazioni che si manifestano attraverso attività sismica minore.

Come ampiamente documentato da dati geologici regionali e da misure geodetiche, lungo l'Avanfossa Appenninica i tassi di deformazione quaternaria diminuiscono procedendo verso ovest, vale a dire passando dall'arco di Ferrara verso quello Emiliano e del Monferrato.

Questa tendenza trova riscontro nella relativa diminuzione del grado di sismicità lungo i tre archi (Catalogo storico, Boschi et al. 2000; CPTI 2004): i terremoti a maggiore intensità, a magnitudo compresa fra 5.0 e 5.5, diminuiscono di frequenza spostandosi dall'Emilia verso il Piemonte (Monferrato). I dati storici a disposizione testimoniano come in genere i sismi nelle Alpi Meridionali presentano magnitudo massime (6.5) maggiori rispetto a quanto mostrato dall'Appennino.



**Figura n.2.1** - Estratto da GNGTS Atti del 23° convegno nazionale (Sileo, Giardina et Al.)

Questi forti terremoti storici hanno tempi di ritorno più lunghi nelle zone occidentali (Garda) che in quelle orientali (Friuli). I meccanismi focali dei terremoti recenti di più bassa magnitudo (come l'evento del 13 Novembre 2002, M=4.2, al Lago d'Iseo, e del 24 novembre 2004, M=5.2, a Salò, sulle rive occidentali del Lago di Garda) sono in



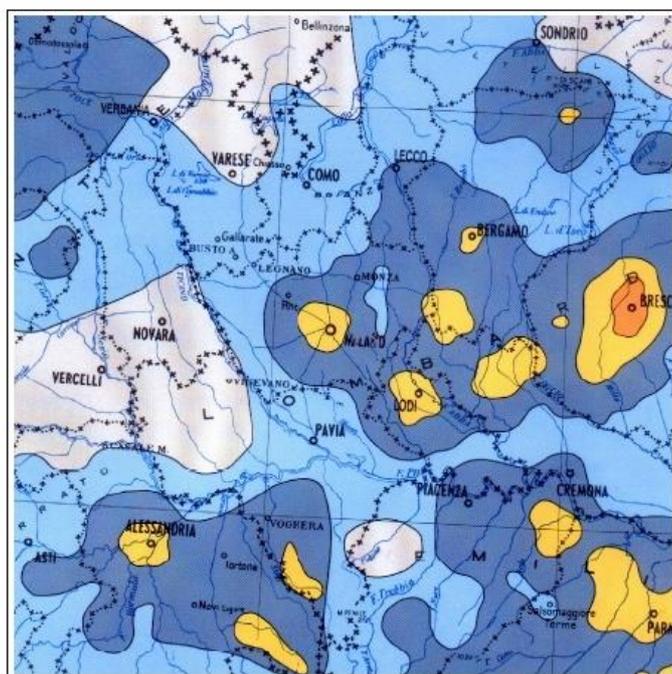
accordo con l'assetto tettonico compressivo definito dalle evidenze geologiche e da profili sismici lungo la base delle Alpi Meridionali (Castellarin e Cantelli 2000; Fantoni et al. 2004).

Nell'arco del Monferrato, lungo il fronte appenninico, alle significative deformazioni tettoniche quaternarie (illustrate ad esempio dai profili di sismica a riflessione dall'industria petrolifera; Bello & Fantoni 2002) è associato un livello di sismicità che, anche se minore di quello presente nell'arco Ferrarese, non può essere considerato trascurabile in termini di pericolosità sismica.

Nell'area pedemontana fra i laghi di Como e Maggiore, al fronte della catena Sudalpina, nonostante anche qui si abbiano chiare evidenze di tettonica quaternaria, descritte in letteratura (Orombelli 1976; Bini et al. 1992; Zanchi et al. 1997; Bini et al. 2001), la pericolosità sismica viene considerata praticamente insignificante. Tale valutazione si basa esclusivamente sul dato storico, in pratica sull'assenza nel catalogo sismico di terremoti con Intensità epicentrale maggiore di VI (MCS), figura n.2.1.

Studi eseguiti nel settore insubrico (Sileo-Giardina-Michetti et al. 2004, Orombelli 1976, Zanchi et al. 1997) in particolare nei siti di Albese con Cassano, Monte Olimpino e Monte Campo di Fiori, attraverso analisi geomorfologiche e rilevamenti sul terreno hanno evidenziato particolari condizioni geostrutturali che rivelano un'attività tettonica ancora in corso.

L'area dell'alta pianura è marcata da intensità sismiche relativamente più elevate variabili dal VI al VII (MCS) - figura n.2.2.



LEGENDA

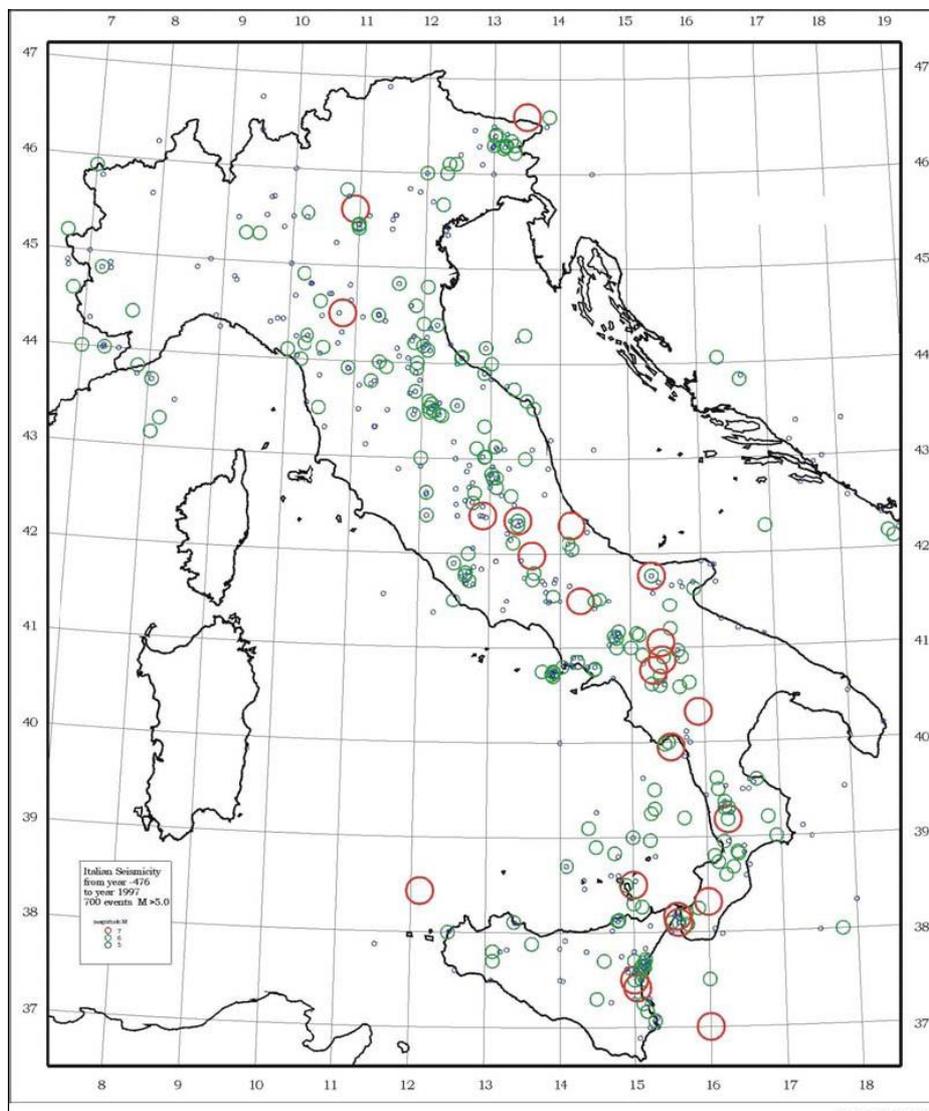
Intensità espresse in scala M.C.S.



**Figura n.2.2 – Intensità sismica**

Gli annali storici relativi agli eventi sismici registrati (banca dati del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) non segnalano una ragguardevole attività sismica nell'area di interesse a causa di una discreta distanza degli epicentri, perciò nei territori di interesse sono stati registrati sporadici eventi sismici e tutti di modesta intensità.

Si riporta nella figura n.2.3 (Catalogo ISC, Catalogo macrosismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica, ecc.) la distribuzione degli epicentri sul territorio italiano per gli eventi sismici più significativi, ovvero quelli con magnitudo  $M > 5$ .



**Figura n.2.3 - Sismicità dell'Italia dal 476 AC al 1997 DC (eventi con  $M > 5$ )**



### 3. PERICOLOSITÀ SISMICA

---

#### 3.1. INDICATORI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica può essere rappresentata per mezzo di differenti “*indicatori*” quali l’intensità macrosismica (I) e l’accelerazione orizzontale di picco (in qualche modo correlabile alla magnitudo). Tali indicatori rappresentano aspetti diversi dello stesso fenomeno. In particolare l’accelerazione orizzontale di picco coglie l’aspetto più propriamente fisico: si tratta di una grandezza di interesse ingegneristico che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica. L’intensità macrosismica rappresenta, invece, in un certo senso le conseguenze socio-economiche; descrivendo infatti il grado di danneggiamento causato dai terremoti, una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

Nel caso specifico si considera (in accordo con la Normativa vigente) come indicatore della pericolosità la accelerazione orizzontale massima su suolo roccioso. Per le sole analisi di liquefazione deve essere definita anche l’entità dell’intensità macrosismica.

#### 3.2. VITA NOMINALE E TEMPO DI RITORNO

Come prescritto dalla Norma la “*vita nominale*” dovrà essere definita dal *Progettista* di concerto con la *Committenza* con riferimento alla tabella n.3.1 in funzione delle caratteristiche dell’intervento.

| Opera  | Tipo | V <sub>N</sub> |
|--|------|----------------|
| Costruzioni temporanee e provvisorie con V <sub>N</sub> ≤ 10anni | 1    | ≤ 10           |
| Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari                  | 2    | ≥ 50           |
| Costruzioni con livelli di prestazioni elevati                   | 3    | ≥ 100          |

**Tabella n.3.1** – Tipo e vita nominale dell’opera (DM 17/01/2018 – tabella 2.4.I)



In relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o collasso in caso di sisma verrà anche associato un coefficiente d'uso ( $C_u$ ) in accordo a quanto riassunto in tabella n. 3.2.

| Classe d'uso | I   | II  | III | IV  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| $C_u$        | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

**Tabella n.3.2** – Classi e coefficienti d'uso (DM 17/01/2018 – tabella 2.4.II)

Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) dell'evento sismico potrà essere pertanto definito (cfr. paragrafo n.2.4.3 – NTC) come prodotto tra la vita nominale ( $V_N$ ) ed il coefficiente d'uso ( $C_u$ ) ottenendo:

$$V_R = V_N \times C_u \geq V_{R^*}$$

Il valore minimo della vita di riferimento ( $V_{R^*}$ ) da assumere in funzione della vita nominale e della classe d'uso è riassunto in tabella n.3.3.

|            | $V_{R^*}$    |            |            |            |
|------------|--------------|------------|------------|------------|
|            | CLASSE D'USO |            |            |            |
| $V_N$      | I            | II         | III        | IV         |
| $\leq 10$  | 35           | 35         | 35         | 35         |
| $\geq 50$  | $\geq 35$    | $\geq 50$  | $\geq 75$  | $\geq 100$ |
| $\geq 100$ | $\geq 70$    | $\geq 100$ | $\geq 150$ | $\geq 200$ |

**Tabella n.3.3** – Valori minimi della vita di riferimento

(Istruzioni DM 17/01/2018 – tabella C.2.4.I)

### 3.3. TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO

Il valore di progetto degli indicatori di pericolosità viene definito in funzione della “probabilità di superamento” in un dato “tempo di ritorno” (tipicamente si considera una



soglia di non superamento nel 90% dei casi in 50 anni ovvero una probabilità di superamento del 10% in 50 anni). E' noto che il "tempo di ritorno" e la "probabilità di superamento" sono due grandezza tra loro correlate come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Dove:

$T_R$  = tempo di ritorno

$V_R$  = vita di riferimento dell'opera

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nella vita dell'opera

La probabilità di superamento dipende, a sua volta, dallo stato limite di verifica. Con riferimento alle NTC (tabella n.3.2.1) si definiscono i valori di cui alla tabella n.3.4:

| STATI LIMITE             |                               | $P_{VR}$ |
|--------------------------|-------------------------------|----------|
| Stati limite di servizio | SLO (operatività)             | 81%      |
|                          | SLD (danno)                   | 63%      |
| Stati limite ultimi      | SLV (salvaguardia della vita) | 10%      |
|                          | SLC (collasso)                | 5%       |

**Tabella n.3.4 – Probabilità di superamento**

La scelta dello stato limite di verifica dipende dalla classe d'uso della struttura e dal tipo di verifica.

In tabella n.3.5 sono riassunti i valore dei tempi di ritorno per gli stati limite considerati al variare della vita di riferimento.



| STATI LIMITE |     | $T_R = T_R(V_R)$                         |
|--------------|-----|--|
| SLE          | SLO | $30 \text{ anni} \leq T_R \leq 0.6 V_R$  |
|              | SLD | $T_R = V_R$                              |
| SLU          | SLV | $T_R = 9.5 V_R$                          |
|              | SLC | $T_R = 19.5 V_R \leq 2'475 \text{ anni}$ |

**Tabella n.3.5** – Tempo di ritorno in funzione della vita di riferimento  
(tab. C.3.2.1 Istruzioni)

### 3.4. ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO TIPO “A”

Il valore di accelerazione orizzontale massima deve essere determinato con riferimento ai valori puntuali già definiti per un'apposita griglia (10x10km) da uno studio dell'INGV e riassunti nelle tabelle di cui all'allegato B delle NTC cui si rimanda.

In particolare il valore al sito viene definito mediando (in funzione della distanza) l'entità dell'accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [ $F_0$  e  $T^*_{c1}$ ):

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

$a_g$  = accelerazione massima suolo tipo A nel sito

$a_{g,i}$  = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo punto

$d_i$  = distanza del sito da i-esimo punto



Qualora, poi, il citato reticolo non riporti il valore di accelerazione per il tempo di ritorno voluto, questo potrà essere ottenuto interpolando i dati relativi ai tempi di ritorno più prossimi come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [ $F_0$  e  $T^*_{Cj}$ ):

$$\log(a_g) = \log(a_{g1}) + \log\left(\frac{a_{g1}}{a_{g2}}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Dove:

$a_g$  = accelerazione massima suolo tipo A nel sito per  $T_R$

$a_{g1} - a_{g2}$  = accelerazione massima suolo tipo A nell'intervallo relativo ai tempi di ritorno più prossimi

$T_{R1} - T_{R2}$  = tempi di ritorno più prossimi

Il sito oggetto di intervento è individuato dalle seguenti coordinate geografiche WGS84 (riferite ad un punto baricentrico dell'attuale Mercato):

- Latitudine: 45.452785
- Longitudine: 9.2320775

ed è pertanto ricompreso tra i seguenti 4 nodi del reticolo INGV:

|               |              |             |                      |
|---------------|--------------|-------------|----------------------|
| - Nodo 12'261 | Lat: 45.4593 | Lon: 9.2174 | Distanza: 1'376.650m |
| - Nodo 12'262 | Lat: 45.4618 | Lon: 9.2885 | Distanza: 4'407.317m |
| - Nodo 12'484 | Lat: 45.4119 | Lon: 9.2920 | Distanza: 6'537.415m |
| - Nodo 12'483 | Lat: 45.4094 | Lon: 9.2208 | Distanza: 5'023.725m |

Si possono pertanto definire i valori dei parametri sismici di riferimento; allo scopo, e *solo a titolo di esempio*, (tabella n.3.6) si fa l'**ipotesi** che le strutture in progetto possano ritenersi di tipo "ordinario" (Tipo 2 –  $V_N=50$ anni) con classe d'uso III (coefficiente d'uso 1.5) cui corrisponde un valore della *vita di riferimento* pari a 75anni:



| STATO LIMITE | $T_R$ [anni]<br>(*) | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_c^*$<br>[sec] |
|--------------|---------------------|--------------|--------------|------------------|
| SLO          | 45                  | 0.024        | 2.564        | 0.188            |
| SLD          | 75                  | 0.030        | 2.559        | 0.211            |
| SLV          | 712                 | 0.058        | 2.661        | 0.290            |
| SLC          | 1462                | 0.070        | 2.708        | 0.305            |

(\*) – I tempi di ritorno della tabella sono stati definiti nell'ipotesi di strutture "ordinarie" con classe d'uso III – In analogia si potrà operare nel caso si assumano valori differenti della *vita nominale* ( $V_n$ ) e del *coefficiente d'uso* ( $C_u$ )

**Tabella n.3.6** - Parametri sismici su suolo tipo A per "vita di riferimento" pari a 75 anni

### 3.5. ACCELERAZIONE MASSIMA – OPERE PROVVISORIE

Il calcolo dell'accelerazione massima su suolo roccioso per opere provvisorie, qualora presenti, può essere svolto analogamente a quanto visto al paragrafo n.3.4 ma assumendo un valore di  $V_R=35$  anni (Tab. 2.4. II D.M. 17/01/18); si ottiene pertanto (tabella n.3.7)

| STATO LIMITE | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ [-] | $T_c^*$ [sec] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|---------------|
| SLO          | 30           | 0.020     | 2.555     | 0.165         |
| SLD          | 35           | 0.021     | 2.558     | 0.173         |
| SLV          | 332          | 0.047     | 2.629     | 0.269         |
| SLC          | 682          | 0.058     | 2.659     | 0.289         |

**Tabella n.3.7** - Parametri sismici su suolo tipo A per opere provvisorie



## 4. MAGNITUDO

---

Un ulteriore parametro di notevole importanza ai fini delle analisi sismiche è rappresentato dalla *magnitudo “da momento”* (dalla quale dipende la durata significativa del moto). Tale parametro viene in particolare usato per la valutazione del potenziale di liquefazione come si vedrà nel seguito.

Va notato che tale parametro è difficilmente correlabile all'accelerazione massima a meno che non sia nota anche la distanza epicentrale; in questo caso si può ricorrere alla nota relazione statisticamente rappresentativa dei terremoti italiani (Sabetta e Pugliese, 1987) di seguito riportata:

$$\log_{10} (a_{\max}) = -1.562 + 0.306 \cdot M - \log_{10} [\sqrt{(r^2 + 5.8^2)}] + 0.169 \cdot S_1$$

dove:

$a_{\max}$  = accelerazione massima al suolo

$M$  = magnitudo

$r$  = distanza epicentrale

$S_1$  = parametro rappresentativo del suolo (0 per roccia e alluvioni spesse – 1 per alluvioni < 20m)

Nel caso in analisi si ritiene più corretto procedere alla determinazione della magnitudo con riferimento alle carte di disaggregazione redatte da INGV per i nodi del reticolo.

Limitatamente agli stati limite di interesse (*SLD-SLV*) e nell'ipotesi che si consideri un valore della vita di riferimento ( $V_R$ ) pari a 75anni si ottiene per il sito di costruzione (si fa riferimento al nodo 12'261 che risulta il più prossimo) quanto riassunto in tabella n.4.1 e nelle seguenti tabelle di dettaglio (4.2 e 4.3).



| STATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | Probabilità Super.<br>[%] | M<br>[-] | Distanza epicentrale<br>[km] |
|--------------|-----------------|---------------------------|----------|------------------------------|
| SLD          | 75              | 63                        | 4.93     | 85.3                         |
| SLV          | 712             | 10                        | 4.99     | 56.6                         |

**Tabella n.4.1 – Valori della Magnitudo per differenti tempi di ritorno (ipotesi di  $V_R=75$ anni)**

| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 63% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 45.4593, lon: 9.2174, ID: 12261) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | Magnitudo  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                | 3.5-4.0  | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10           | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000  | 0.949   | 1.110   | 0.315   | 0.034   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000  | 3.970   | 4.900   | 1.500   | 0.216   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000  | 4.570   | 6.150   | 2.120   | 0.350   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000  | 3.840   | 5.610   | 2.170   | 0.391   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000  | 2.530   | 4.020   | 1.750   | 0.324   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000  | 1.620   | 2.840   | 1.430   | 0.313   | 0.036   | 0.004   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000  | 1.320   | 2.650   | 1.610   | 0.543   | 0.104   | 0.012   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000  | 1.070   | 2.440   | 1.720   | 0.741   | 0.168   | 0.020   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000  | 0.818   | 2.130   | 1.770   | 0.962   | 0.295   | 0.037   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000  | 0.577   | 1.710   | 1.620   | 1.030   | 0.351   | 0.044   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130        | 0.000  | 0.451   | 1.560   | 1.680   | 1.230   | 0.366   | 0.040   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140        | 0.000  | 0.319   | 1.290   | 1.530   | 1.200   | 0.337   | 0.035   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150        | 0.000  | 0.190   | 0.945   | 1.240   | 0.999   | 0.281   | 0.031   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160        | 0.000  | 0.101   | 0.734   | 1.060   | 0.827   | 0.240   | 0.027   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170        | 0.000  | 0.043   | 0.478   | 0.795   | 0.632   | 0.216   | 0.022   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180        | 0.000  | 0.019   | 0.309   | 0.609   | 0.521   | 0.224   | 0.018   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190        | 0.000  | 0.007   | 0.201   | 0.474   | 0.441   | 0.236   | 0.016   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200        | 0.000  | 0.001   | 0.138   | 0.387   | 0.419   | 0.270   | 0.014   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.930       | 85.300   | 1.070   |

**Tabella n.4.2 – Mappa di disaggregazione per  $T_R=75$ anni**



| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 45.4593, lon: 9.2174, ID: 12261) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | Magnitudo  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                | 3.5-4.0  | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10           | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000  | 2.280   | 3.610   | 1.560   | 0.251   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000  | 6.890   | 11.800  | 5.720   | 1.270   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000  | 5.180   | 10.200  | 5.810   | 1.550   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000  | 2.850   | 6.530   | 4.400   | 1.340   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000  | 1.100   | 3.250   | 2.650   | 0.867   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000  | 0.332   | 1.550   | 1.650   | 0.679   | 0.130   | 0.019   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000  | 0.042   | 0.823   | 1.410   | 0.907   | 0.324   | 0.048   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000  | 0.000   | 0.348   | 1.130   | 0.974   | 0.421   | 0.067   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000  | 0.000   | 0.104   | 0.792   | 0.984   | 0.565   | 0.097   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000  | 0.000   | 0.022   | 0.474   | 0.850   | 0.566   | 0.101   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130        | 0.000  | 0.000   | 0.001   | 0.290   | 0.841   | 0.496   | 0.080   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.149   | 0.678   | 0.395   | 0.062   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.058   | 0.448   | 0.290   | 0.048   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.018   | 0.279   | 0.214   | 0.037   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.005   | 0.162   | 0.172   | 0.027   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.107   | 0.163   | 0.019   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.072   | 0.155   | 0.015   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200        | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.054   | 0.163   | 0.011   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.990       | 56.600   | 1.610   |

**Tabella n.4.3 – Mappa di disaggregazione per  $T_R=712$ anni**

Si osserva che la magnitudo risulta:

$$M < 5.0$$

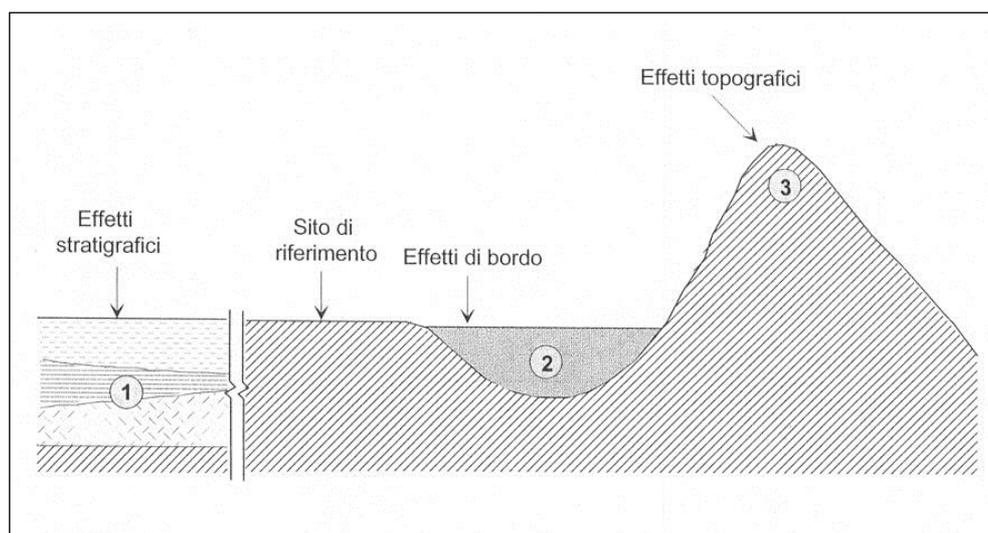


## 5. EFFETTI DI SITO

### 5.1. EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i seguenti parametri (vedere anche figura n.5.1):

- ✓ Parametro  $S_s$ : Effetti stratigrafici
- ✓ Parametro  $S_T$ : Effetti topografici



**Figura n.5.1 – Possibili effetti di amplificazione**

### 5.2. EFFETTI STRATIGRAFICI (PARAMETRO $S_s$ )

Il parametro " $S_s$ " che definisce gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia viene valutato in accordo alla seguente tabella n.5.2 in funzione delle caratteristiche del terreno nei primi 30m di profondità.



Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica   |
|-----------|--|
| A         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.  |
| B         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.  |
| C         | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.   |
| D         | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E         | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.  |

**Tabella n.5.2 – Effetti stratigrafici – Categorie del suolo**

Il valore del parametro  $F_0$  che rappresenta il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale viene ricavato dal “reticolo di riferimento” redatto dal INGV, pubblicato in allegato all’O.M. 3519 del 28/04/2006 e annesso all’allegato B delle NTC DM 14/01/2008).

Si osserva che la velocità  $V_{s30}$  rappresenta la media delle velocità dei primi 30m di profondità e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove:

- $h_i$  spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

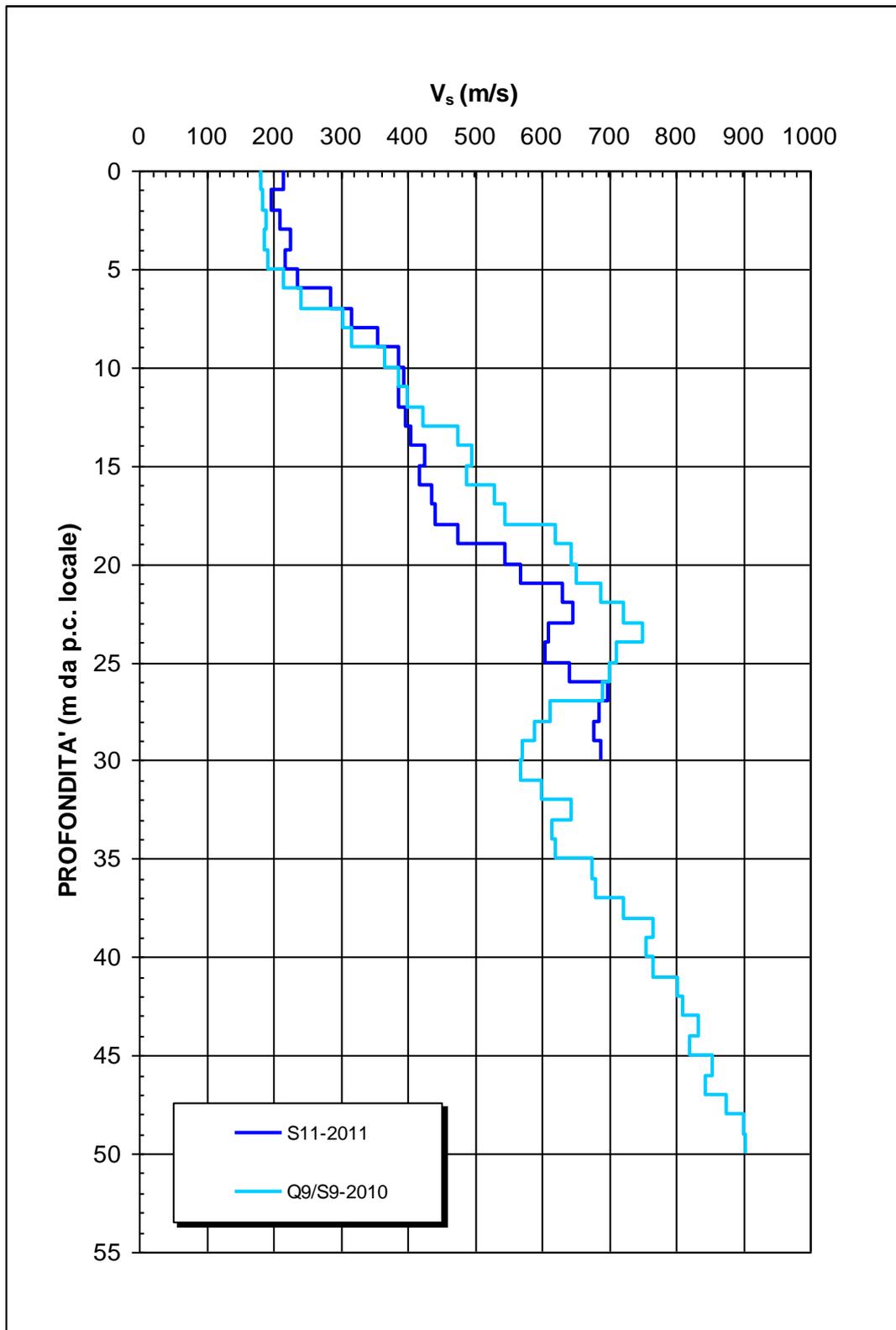


Per la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) nel terreno sono state eseguite apposite prove geofisiche del tipo “*down-hole*”; dette prove hanno consentito di raggiungere profondità fino a 50m dal p.c. locale posizionando i geofoni ad intervalli regolari di 1m.

Nello specifico sono state eseguite le seguenti prove (i valori della velocità misurata sono illustrati in figura n.5.2):

- ✓ sondaggio S11-2011 (profondità 30m) – Zona nord dell’area di costruzione
- ✓ sondaggio Q9/S9-2010 (profondità 50m) – Zona sud dell’area di costruzione

In tabella n.5.3 sono riassunti i valori calcolati come da Norma della velocità media  $V_{s-30}$ ; ne segue che il sito può essere classificato in categoria del suolo tipo “**B**” cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) pari a 1.2.



**Figura n.5.2** – Risultati prove down-hole – Velocità onde di taglio



| Sondaggio  | $V_{s30}$<br>(m/s) | Categoria<br>suolo | $S_s$      |
|------------|--------------------|--------------------|------------|
| S11-2011   | 381 > 360          | <b>B</b>           | <b>1.2</b> |
| Q9/S9-2010 | 374 > 360          | <b>B</b>           |            |

**Tabella n.5.3** – Velocità media delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) e categoria del suolo

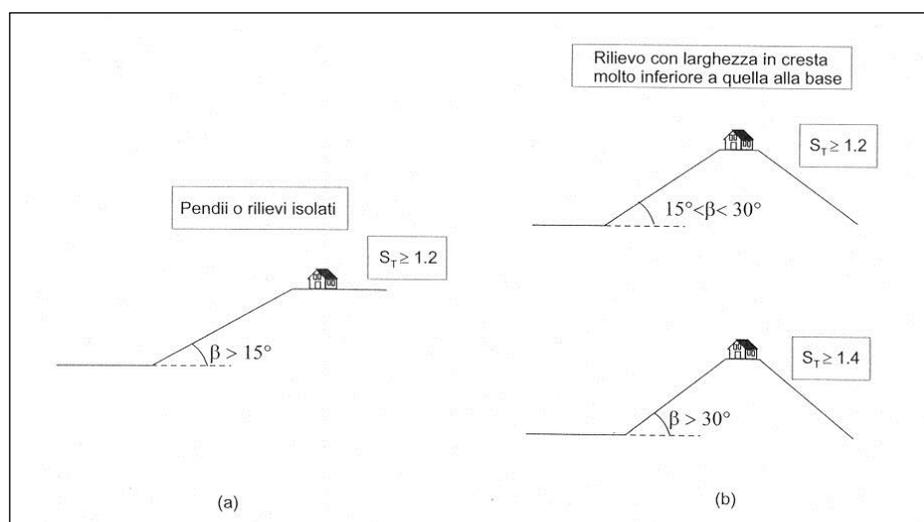
### 5.3. EFFETTI TOPOGRAFICI (PARAMETRO $S_T$ )

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione dovuti alla topografia del sito si fa riferimento alla tabella n.5.4 ed alla figura n.5.2 di cui al seguito.

**Tab. 3.2.V** – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento  | $S_T$ |
|-----------------------|--|-------|
| T1                    | -  | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio   | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$ | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$       | 1,4   |

**Tabella n.5.4** – Coefficiente di amplificazione topografica  
(DM 17/01/2018 – tabelle 3.2.V)



**Figura n.5.2** – Coefficiente di amplificazione topografica

Nel caso particolare in esame (terreno pressoché pianeggiante) si assume:

$$S_T = 1.0$$



#### 5.4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

##### **Analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (1° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).**

Secondo il D.M.17/01/18, tenuto conto dei risultati dell'indagine Down-hole pregresse effettuate, è stato calcolato il valore di  $V_sEq$  (assimilabile in questo caso al valore di  $vs_{30}$ ) nonché la rispettiva Categoria di Sottosuolo. Si fa presente che il valore  $Vs_{30}$  è stato calcolato a partire da -3/-3,5m p.c. Tale profondità di calcolo è stata concordata con il progettista delle strutture a seguito delle iniziali indicazioni progettuali fornite che prevedono l'ipotesi preliminare di fondazioni dirette posate a circa -3/3,5m da p.c. attuale. Qualora si dovessero apportare modifiche progettuali al piano di posa delle fondazioni nelle successive fase progettuali, si specifica che il valore delle  $Vs_{30}$  dovrà essere ricalcolato, così come anche le successive analisi richieste dalla normativa regionale vigente.

| Indagini Down-Hole_ Ortomercato Milano            |                                  |                                |
|---|----------------------------------|--------------------------------|
| <i>Piano di riferimento</i>                       | <i><math>Vs_{30}(m/s)</math></i> | <i>Categoria di sottosuolo</i> |
| Piano di posa fondazioni ( $\approx$ -3m da P.C.) | 459-478                          | B                              |

Dalla consultazione della carta di pericolosità sismica – Aree a pericolosità sismica locale – Primo livello di approfondimento del PGT del Comune di Milano, l'area investigata non ricadrebbe in una zona interessata da scenario di pericolosità sismica locale.

Tuttavia in base ai contenuti del DGR 30 novembre 2011 - n. IX/2616, facendo riferimento alla tabella di seguito riportata e in esso contenuta, l'area in esame può essere considerata ricadente nello scenario di pericolosità sismica locale Z4a, così come previsto nei diversi PGT limitrofi al comune di Milano che ricadono in zone di pianura.



| Sigla | SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE   | EFFETTI                                  |
|-------|---|--|
| Z1a   | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi   | Instabilità                              |
| Z1b   | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti   |  |
| Z1c   | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana  |  |
| Z2a   | Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) | Cedimenti                                |
| Z2b   | Zone con depositi granulari fini saturi   | Liquefazioni                             |
| Z3a   | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)   | Amplificazioni topografiche              |
| Z3b   | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate  |  |
| Z4a   | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi                  | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b   | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre   |  |
| Z4c   | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)                                     |  |
| Z4d   | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale   |  |
| Z5    | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse                   | Comportamenti differenziali              |

Pertanto, per tale scenario di pericolosità sismica (Z4a), tenuto conto di quanto previsto dalla suddetta normativa regionale vigente e dell'assenza di approfondimenti all'interno dello Studio Geologico Comunale, è necessario di eseguire l'approfondimento di 2° livello del rischio sismico sito-specifico (ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. n. IX/2616 correlata a fattori predisponenti e potenziali fenomeni di amplificazione sismica per effetti litologici - Scenari di Pericolosità Sismica Locale Z4a). A riguardo si riportano di seguito i risultati analitici e i dettagli di calcolo dei fattori di amplificazione  $F_a$  di sito.

**Analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).**

| Indagini Down-Hole_ Ortomercato Milano   |            |                         |
|--|------------|-------------------------|
| D.M. 17/01/2018                          |            |                         |
| Piano di riferimento                     | Vs30 (m/s) | Categoria di sottosuolo |
| Piano di posa fondazioni (≈- 3m da P.C.) | 459-478    | <b>B</b>                |
| All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011 T=0,25   |            |                         |



|   | Fa di sito<br>calcolato | Fa soglia<br>per cat. B | <b>Categoria di<br/>sottosuolo da<br/>considerare</b> |
|---|-------------------------|-------------------------|---|
| SCHEDA LITOLOGIA<br>SABBIOSA<br>edifici $0,1 \text{ s} < T < 0,5 \text{ s}$ | 1,64                    | 1,4                     | <b>C</b>  |
| SCHEDA LITOLOGIA<br>SABBIOSA<br>edifici $0,5 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$ | 1,27                    | 1,7                     | <b>B</b>  |

In accordo con la procedura regionale, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico medio, sono stati riportati nelle “Schede di Stima degli Effetti Litologici”. Rispettando le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito e soprattutto i campi di validità è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (Fa) rispetto a quelli di “soglia comunale” utilizzando la scheda relativa alla “litologia sabbiosa “(curva 2).

Si specifica che, per i limiti intrinseci della metodologia d’indagine utilizzata e della tipologia della successione stratigrafica del sito in esame, non è stato possibile raggiungere il bedrock sismico ( $V_s \geq 800 \text{ m/s}$ ), utile per il calcolo del periodo di vibrazione del sito (T). Considerando la tipologia di sottosuolo presente nell’area risulta poco significativa la ricostruzione dell’andamento dei valori di  $V_s$  fino al valore di 800 m/s. Per tale motivo il periodo di risonanza di sito è stato definito considerando esclusivamente il profilo di velocità delle  $V_{s30}$ , così come previsto dalla normativa, ottenendo un valore di 0,25s. Ai fini del calcolo di Fa tale approccio è risultato essere cautelativo

I risultati ottenuti hanno verificato (considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, prevista dalle normative) che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) si ottengono valori di Fa di sito superiori al valore di Fa di soglia previsto per la categoria di sottosuolo B. In questo caso si dovrà fare riferimento nella progettazione ai parametri sismici definiti per suoli di tipo C.



Per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s (strutture alte e più flessibili) si ottengono valori di Fa di sito compatibili con il valore di Fa di soglia previsto per la categoria di sottosuolo B (definita per il sito d'interesse) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica



## 5.5. ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO

L'accelerazione massima orizzontale al sito ( $a_{max}$ ) potrà essere calcolata come prodotto dell'accelerazione al substrato ( $a_g$ ) e dei fattori di amplificazione ( $S_s$  ed  $S_T$ ).

$$a_{max} = a_g \times S_T \times S_S = a_g \times 1.0 \times S_S$$

Nell'ipotesi di assumere  **$V_R=75$ anni** ( $V_N=50$ anni –  $C_u=1.5$ ) si otterrebbe per

### Suolo tipo B ( $S_S = 1.20$ )

|     |   |   |
|-----|---|---|
| SLO | → | $a_{max} (T_R=45\text{anni}) = 0.024 \times 1.2 = 0.0288$   |
| SLD | → | $a_{max} (T_R=75\text{anni}) = 0.030 \times 1.2 = 0.0360$   |
| SLV | → | $a_{max} (T_R=712\text{anni}) = 0.058 \times 1.2 = 0.0696$  |
| SLC | → | $a_{max} (T_R=1462\text{anni}) = 0.070 \times 1.2 = 0.0840$ |

### Suolo tipo C ( $S_S = 1.50$ )

|     |   |  |
|-----|---|--|
| SLO | → | $a_{max} (T_R=45\text{anni}) = 0.024 \times 1.5 = 0.036$   |
| SLD | → | $a_{max} (T_R=75\text{anni}) = 0.030 \times 1.5 = 0.045$   |
| SLV | → | $a_{max} (T_R=712\text{anni}) = 0.058 \times 1.5 = 0.087$  |
| SLC | → | $a_{max} (T_R=1462\text{anni}) = 0.070 \times 1.5 = 0.105$ |



## **6. STABILITÀ DEL SITO DI COSTRUZIONE**

---

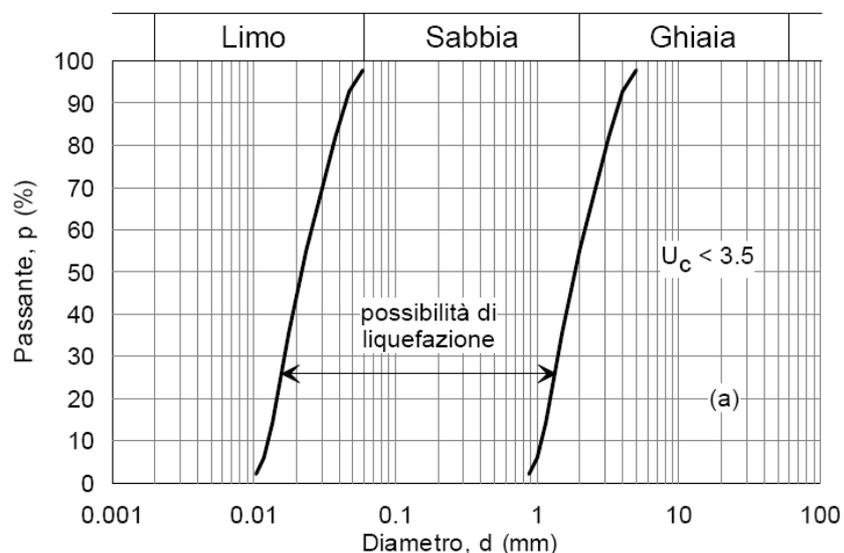
### **6.1. STABILITÀ DEI VERSANTI**

Tale problematica risulta influente per il sito in studio in quanto pressoché pianeggiante.

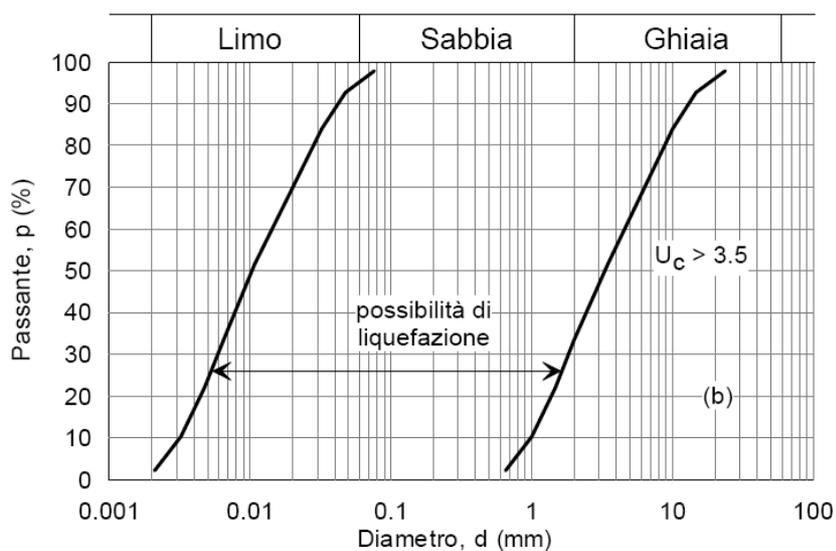
### **6.2. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Si fa riferimento a quanto prescritto dalla norma ove vengono elencate le circostanze per le quali la verifica può essere omessa (se ne deve manifestare **ALMENO** una):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



**Figura n.6.1 – Fuso di terreno suscettibile di liquefazione ( $U_c < 3.5$ )**



**Figura n.6.2 – Fuso di terreno suscettibile di liquefazione ( $U_c > 3.5$ )**

Il valore massimo di  $ag_{max}$  ottenuto, che si verifica allo stato limite SLC, è pari a 0,084 g; quindi inferiore a quello di esclusione indicato dal comma 1.

Si ritiene di conseguenza, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.