

COMUNE DI FERRARA

**AREA “PETROLIFERA ESTENSE”
VIA PADOVA 43**

**PIANO PARTICOLAREGGIATO
DI INIZIATIVA PRIVATA
ZONA B4.5**

**INTEGRAZIONE sull’AZIONE SISMICA
alla RELAZIONE GEOLOGICA
n.13/2007 del 15 maggio 2007**



Committente: SCANAVINI ASSOCIATI
Via Comacchio n.13 FERRARA

Data: Ferrara, 29 dicembre 2010

Rif.rel. 17/2010

EDILGEO Studio Tecnico Geologico
dr.geol.Marilena Martinucci Castaldi
via Pontegradella 11- 44100 Ferrara tel 0532 740943 fax
e.mail: edilgeo.fe@email.it

1. PREMESSA

Nel mese di maggio 2007, per incarico dello Studio Scanavini Associati la scrivente ha redatto una Relazione geologica per un Piano Urbansitico Attuativo di un'area sita a Ferrara, via Padova n.43.

Lo studio geologico ha seguito le normative vigenti a quella data. In seguito è diventata operativa la Delibera della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007, sono state aggiornate le Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14 settembre 2005 (D.M. 14 gennaio 2008) e queste sono entrate definitivamente in vigore dal 30 giugno 2009.

A seguito di questa evoluzione normativa si redige la seguente integrazione alla Relazione n.13/2007, ottemperando alla richiesta del Responsabile del procedimento dell'Ufficio Piani Urbanistici Attuativi del Comune di Ferrara "La Relazione geologica non è conforme alle Direttive regionali di cui alla Delibera 112 del 2 maggio 2007 relative a "Modalità di svolgimento delle Analisi dirette alla valutazione della risposta sismica locale e i criteri per attuare la microzonazione del territorio regionale"- con riferimento al 3° livello di approfondimento".

Questa Relazione pertanto sostituisce tutta la parte riguardante l'azione sismica e la pericolosità all'azione sismica della Relazione 13/2007.

Al momento della elaborazione della Relazione geologica di P.U.A. non è stato possibile eseguire prove all'interno dell'area, come riportato nell'allegato Prove Geognostiche, e si sono utilizzati i risultati di prove CPT eseguite in aree limitrofe, dato che l'area, già adibita a deposito e commercio di carburante dagli attuali (Petrolifera Estense) e dai precedenti proprietari (Consorzio Agrario) presenta una presunta pericolosità e dovrà essere indagata per gli interventi di caratterizzazione e bonifica secondo il D. lgs. 152/2006 e s.m.i., parte quarta, Titolo V. Non ci sono quindi le condizioni per sondare direttamente il terreno e prelevare campioni ai fini puramente geotecnici.

Questa Relazione si avvale anche di dati e risultati forniti alla scrivente dal dr.geol. Thomas Veronese che ha eseguito lo Studio Geologico per il PUA nell'area limitrofa del ex Consorzio Agrario.

2. AZIONE SISMICA.

La zona di intervento in seguito ORDINANZA 3274/2003 e 3316/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (PCM) 20 marzo 2003, ricade in zona sismica di terzo grado.

Il D.M. 14.01.2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, nella valutazione della sicurezza delle costruzioni pone fra le azioni, causa capace di indurre stati limite in una struttura, le azioni derivanti dai terremoti: E – sismiche.

Le azioni sismiche di progetto, riferite quindi alle costruzioni, in base alle quali deve essere valutato il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Come indica chiaramente il Decreto (§ 3.2) “Essa costituisce l’elemento di conoscenza primaria per la determinazione delle azioni sismiche”.

Il primo passo è quindi la definizione della **Categoria del sottosuolo** e delle **Condizioni topografiche del sito**.

Le indicazioni riguardo l’Effetto di sito sono eseguite a scala e definizione diversa secondo il livello di pianificazione, sulle indicazioni riportate dall’Atto di indirizzo e coordinamento della Regione Emilia-Romagna, Deliberazione n.112 del 2 maggio 2007.

La presente Relazione di PUA si riferisce pertanto alla “Valutazione del rischio sismico delle aree edificate ed edificabili del PSC del Comune di Ferrara” e in particolare alla Carta delle aree suscettibili di effetti locali e alla Carta di sintesi della prima fase di analisi di pericolosità sismica.

2.1. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

2.1.1. Categoria di suolo

Per la classificazione del sito è necessario conoscere le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo dell’area indagata. In particolare devono essere noti:

- 1) il numero e lo spessore degli strati di copertura, cioè dei livelli sovrastanti il bedrock o il bedrock-like, intendendo con questi termini l’eventuale substrato roccioso (bedrock) o uno strato sciolto (bedrock-like) con velocità delle onde S nettamente maggiore dei livelli superiori (e generalmente con valori oltre 800 m/s);
- 2) la velocità delle onde S negli strati di copertura;

Data la sostanziale omogeneità dei depositi superficiali indagati sino a 20 e 30 metri di profondità si può procedere alla costruzione di un unico modello stratigrafico. La stratigrafia tipo consiste in alternanze di terreni prevalentemente coesivi (limi ed argille) per i primi 13÷14 metri circa (dal piano campagna) seguiti in profondità da corpi sabbiosi molto consistenti con sottili intercalazioni di terreni “limosi coesivi” discontinui lateralmente.

Il livello della falda è localizzato a c.a m 1,50 dal piano campagna.

La caratterizzazione è stata effettuata attraverso relazioni empiriche che legano la velocità delle onde sismiche “S” alla prova penetrometrica dinamica e statica (Seed e Idriss , Lo Presto e Lai) (vedi tabulato: $V_{s30} = 176 \div 181$ m/s).

In particolare dalle verifiche eseguite il sottosuolo ricade in Depositi riferibili alla categoria di suolo C al limite con suolo D :

- la categoria “ **C** ” - depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argilla a media consistenza con spessori variabili da diverse decine sino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < cu < 250$ KPa)

e

- la categoria “ **D** ” – depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure terreni coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 < 180 m/s ($N_{spt} < 15$, $cu < 70$ KPa)

Vs30 = velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

$$\frac{\sum_{i=1}^n V_{si}}{n}$$

strato (da m a m.)	spess H (m)	litologia	Rp		Fatt conv a	N=RP / a		γ KN/m ³	γ' KN/m ³	σ'_{vo} KN/m ²	σ_{vo} KN/m ²	(1)Vs (m/s)		H/Vs	(2)Vs	(2)Vs	(2)
			min	max		min	max					min	max		(m/s)	(m/s)	H/Vs
0,00-1,0	1	t riporto	41	57	3	14	19	19	19	9,50	9,50	129	140	0,007	95	99	0,010
1,0-3,05	2,5	limo sabb	12	16	3	4	5	19	9	30,25	42,75	112	121	0,021	111	115	0,022
3,5-4,5	1	sabbia lim	24	45	3	8	15	19	9	46,00	76,00	141	164	0,007	135	146	0,007
4,5-5,5	1	limo sabb	9	11	3	3	4	19	9	55,00	95,00	112	120	0,009	124	129	0,008
5,5-13,5	8	argilla lim	12	16	4	3	4	19	9	95,50	180,50	123	132	0,063	151	157	0,052
13,5-15,5	2	sabbia	49	73	3	16	24	19	9	140,50	275,50	197	218	0,010	200	211	0,010
15,5-20	4,5	sabbia	102	138	3	34	46	19	9	169,75	337,25	243	262	0,018	232	241	0,019
20-30	10	sabbia	108	180	3	36	60	19	9	235,00	450,00	258	293	0,036	255	273	0,038

(1) Vs ₃₀ =	176	m/s	[Vs (m/s) Seed =49.Nspt ^{0,25} .s'vo ^{0,14}]	0,171	0,166
(2) Vs ₃₀ =	181	m/s	Lo [Vs (m/s) =277.qc ^{0,13} .s'vo ^{0,27} (qc Presti Mpa)]		

In aree limitrofe la classificazione della categoria di suolo è stata operata sulla base di un indagine sismica eseguita dalla Ditta Indago s.n.c. di Rovigo per incarico del geol. A.Mucchi, impiegando la tecnica del rumore ambientale (Refraction Microtremor “Re.Mi”) che ha consentito di determinare la sequenza sismica delle onde di taglio nel sottosuolo. Si è ricavata la velocità V_{S30} pari a 203 m/s che pone il sottosuolo nella **categoria C**.

2.1.2. Condizioni topografiche

L’area si trova in una zona di pianura, non localizzata in un sito instabile o potenzialmente instabile, non in presenza di forti variabilità laterali nei terreni del sottosuolo o di anomalie di origine naturale. Attualmente vi è la presenza di serbatoi interrati.

2.2. CLASSIFICAZIONE SECONDO IL D.M.14 GENNAIO 2008

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14.01.08, attribuisce al Comune di Ferrara un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0,125 g - 0,150 g, con $T=0$, su suolo rigido ($V_{S30}>800$ m/sec), con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

I parametri sismici necessari alla progettazione

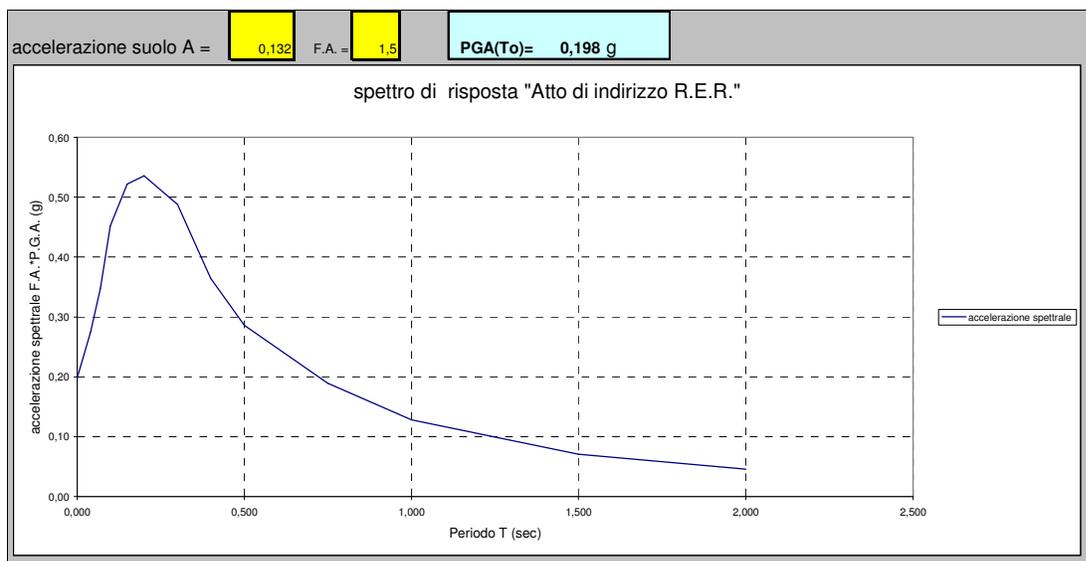
a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

per tutti i siti del territorio nazionale, fra cui scegliere quelli del sito in esame, sono forniti dall'allegato al D.M. 2008, con riferimento alla mappa redatta dall'INGV.

Per il Comune di Ferrara lo spettro di risposta è calcolato per un valore di accelerazione al suolo di 0,132 g e un Fattore di amplificazione di 1,5, con una $Vs30 < 300$ m/sec.



Spettro di risposta per il suolo rilevato a Ferrara

Dai parametri spettrali a_g , F_0 e T^*_C per il sito di progetto, unitamente all'amplificazione topografica e stratigrafica (effetto di sito, T1), la Categoria di suolo, C nel caso in esame, e la classe d'uso della costruzione, il progettista potrà definire lo spettro di risposta in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata.

2.3. LIQUEFAZIONE

Sulla base delle indagini eseguite si procede alla “verifica di stabilità” in relazione ai fenomeni di liquefazione” possibili in terreni sabbiosi e sabbioso-limosi presenti entro la profondità di 15 :/20 metri. La verifica viene eseguita sino a m 20.

Un terreno incoerente durante un evento sismico, viene interessato da sollecitazioni cicliche di taglio. Si ha liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tali che la pressione interstiziale raggiunga il valore della pressione di confinamento. In definitiva per liquefazione si intende il quasi totale annullamento della resistenza al taglio e un comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si rappresenta la resistenza al taglio con la relazione di Coulomb

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u) \tan \varphi$$

essendo

c = coesione del terreno

σ_{vo} = pressione litostatica totale alla profondità di indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio

si avrà $\tau = 0$

solamente se “ $c = 0$ “⁽¹⁾ e “ $(\sigma_{vo} - u) = 0$ “⁽²⁾

- quindi inesistente per terre coesive o incoerenti con abbondante frazione coesiva (1)

- e solo per $\sigma_{vo} = u$ la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale litostatica

Il fenomeno interessa quindi essenzialmente depositi sciolti non coesivi immersi in falda ed in occasione di eventi sismici è legato a:

- caratteristiche delle vibrazioni sismiche
- proprietà geotecniche dei terreni
- fattori ambientali

Dalle osservazioni sui casi reali di liquefazione si è notato che:

- maggiore è la pressione di confinamento maggiore è il numero di cicli di carico richiesto per il collasso
- tanto più è bassa la densità relativa del deposito (D_r) , tanto maggiore è il rischio di liquefazione
- la dimensione, la distribuzione , il grado di uniformità e la forma delle particelle solide influenzano sensibilmente la liquefazione dei depositi

La valutazione del potenziale di liquefazione viene eseguito secondo le indicazioni di Seed e Idriss, verificando gli sforzi al taglio indotti alle varie profondità del terreno in esame dal terremoto di progetto, e confrontandoli con la resistenza al taglio ciclica offerta dal terreno alle sollecitazioni indotte dal Sisma .

La resistenza al taglio ciclica viene valutata utilizzando correlazioni empiriche che legano questo parametro ai valori di resistenza penetrometrica (statica o dinamica)

La resistenza dei terreni alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico (CRR) e la sollecitazione di taglio massimo indotta dal sisma (Cyclic Stress Ratio – CSR)

$$F = CRR / CSR$$

Per questi terreni si è valutato il valore di CSR di progetto ed il corrispondente valore di CRR dal cui rapporto risulta il grado di sicurezza per una data intensità di Sisma .

Dati: zona di 3° categoria

- accelerazione massima al suolo	$a_{max} / g = 0,15 g$
- Categoria di suolo	C
- Coeff amplificativo per il tipo di suolo (C)	S = 1,25
- forza tangenziale medio ciclico di progetto	$\tau_{av} = 0,65 \cdot (S \cdot a_{max} / g) \cdot \sigma_{vo} \cdot rd$
- Cyclic Stress Ratio	$CSR = \tau_{av} / \sigma'_{vo}$

essendo:

τ_{av}	valore medio della tensione tangenziale ciclica	
a_{max}	massima accelerazione orizzontale attesa alla superficie del suolo (PGA)	
g	accelerazione di gravità 9,81 m/s ²	
σ_{vo} e σ'_{vo}	tensione litostatica rispettivamente totale e iniziale	
Rd	Coeff funzione profondità Z	
	$Rd = 1 - 0,00765 \cdot Z$	(Z in metri) sino a m 9,15
	$Rd = 1,174 - 0,0267 \cdot Z$	(Z in metri) fra m 9,15 e 23
	$Rd = 0,744 - 0,008 \cdot Z$	(Z in metri) fra m 23 e 30

Il valore di CSR (Cyclic Stress Ratio) = τ_{av} / σ_{vo}

- per lo strato a 15 m risulta	CSR _{7,5} = 0,179
- per lo strato a 17 m risulta	CSR _{7,5} = 0,178
- per lo strato a 18 m risulta	CSR _{7,5} = 0,166

Dai risultati delle prove CPT si ricava il valore di resistenza alla liquefazione CRR utilizzando

relazioni del tipo

$$CRR = 0,883 [(qc \text{ in})_{cs} / 1000] + 0,05 \quad \text{per } (qc \text{ in})_{cs} < 50 \quad \text{oppure}$$

$$CRR = 93 [(qc \text{ in})_{cs} / 1000]^3 + 0,08 \quad \text{per } 50 < (qc \text{ in})_{cs} < 160$$

essendo

$(qc \text{ in})_{cs}$ = resistenza alla punta normalizzata per la condizione più gravosa (sabbia pulita)
(senza tener conto della frazione fine) = $qc * CQ$ ($CQ = \sigma'_{vo}^{-0.5978}$)

Sviluppando la relazione sopra scritta per sisma di magnitudo 7,5 risulta:

$$\text{a m 15 di prof} \quad CRR_{7,5} = 0,089$$

$$\text{a m 17 di prof} \quad CRR_{7,5} = 0,125$$

$$\text{a m 19 di prof} \quad CRR_{7,5} = 0,185$$

Per il territorio di Ferrara il sisma di progetto risulta con Magnitudo inferiore a 5,5 . Si dovrà quindi rapportare il valore di CSR da magnitudo 7,5 a 5,5 che si ottiene moltiplicando il Rapporto CRR/CSR per un coefficiente correttivo CM funzione della magnitudo del sisma (fattore di scala) ricavabile con relazioni del tipo

$$CM = (M / 7,5)^{-3,3} = 2,78 \quad (\text{valida per } M < 7,5)$$

Prof metri	CSR _{7,5}	CRR _{7,5}	F=(CRR/CSR)xCM
15,0	0,179	0,089	1,4
17,0	0,178	0,125	2,0
19,0	0,166	0,185	3,1

Per $F > 1$ non esiste pericolo di liquefazione

Per l'area è minimo il rischio del fenomeno di liquefazione per sisma di $M = 5,5$.

La verifica della resistenza alla liquefazione delle sabbie eseguita nell'area limitrofa dell'ex Consorzio Agrario dal dr.geol. Veronese, in condizioni geologicamente comparabili, ha concluso che *"il fenomeno della liquefazione non è un effetto di sito atteso"*.

3. CEDIMENTI POSTSISMICI

L'Atto di indirizzo e coordinamento della Delibera regionale n.112/2007 indica per i PUA un'analisi più approfondita – terzo livello di approfondimento, da eseguirsi soprattutto nei casi in cui vi siano aree soggette a instabilità, liquefazione e densificazione, realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

La zona da indagare e la scala degli elaborati cartografici è da definire in base alle criticità riscontrate e alle dimensioni dell'area, e all'opera da realizzare.

Per l'area oggetto di Piano particolareggiato al momento attuale, come detto, è possibile dare solo indicazioni di tipo generale. Non è stato inoltre possibile per ora eseguire indagini geognostiche o sismiche e le valutazioni specifiche si rimandano quindi successivamente, dopo la caratterizzazione dell'area ai fini della bonifica.

Riguardo ai cedimenti post-sismici prevedibili, si ritiene che nei terreni granulari del banco sabbioso indicato su cui è stata operata la valutazione della pericolosità alla liquefazione, possano essere esclusi.

Riguardo ai terreni coesivi, per i quali in caso di sisma si prevede un incremento delle pressioni interstiziali con un cedimento di riconsolidazione per la successiva dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto, l'Atto di indirizzo della Regione prescrive che il calcolo del cedimento sia effettuato per terreni soffici con coesione $c_u < 70$ kPa e plastici con Indice $I_p > 30\%$.

Per il sito in oggetto ci riferiamo ai risultati dell'analisi effettuata su un campione nel terreno dell'area adiacente dell'ex Consorzio Agrario.

Il campione, rappresentativo dei terreni coesivi del sottosuolo del sito, sottoposto ai Limiti di Atterberg ha mostrato un Indice plastico I_p pari a 21%, cioè inferiore al 30% indicato come limite dalla norma, per cui non risulta necessario procedere al calcolo dei cedimenti postsimici.

4. PERICOLOSITA' SISMICA

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", si è dato il via alla riclassificazione sismica del territorio nazionale e alle conseguenti normative riguardanti gli usi e le attività sul territorio. Il Comune di Ferrara è inserito in zona 3.

A livello di pianificazione urbanistica gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica della Regione Emilia-Romagna, approvati con Atto di indirizzo e coordinamento tecnico dall'Assemblea legislativa in data 2 maggio 2007, richiedono un primo livello di approfondimento per l'intero territorio comunale con la identificazione delle aree suscettibili di effetti locali da sintetizzare in una Carta della pericolosità sismica locale.

Il PSC del comune di Ferrara, adottato il 14.09.2007 e approvato il 16.04.2009, propone una Carta di sintesi della prima fase di analisi di pericolosità sismica con richiesta per queste aree di un secondo livello di approfondimento (aree campite in giallo).

Il Piano Urbanistico Attuativo dovrebbe infatti procedere al secondo livello di approfondimento, valutando l'effettivo Grado di pericolosità sismica locale attraverso l'analisi della Risposta sismica locale (RSL) e al terzo livello attraverso il supporto di prove in sito e in laboratorio.

Dalle considerazioni sopra effettuate, è risultato $V_{s30} = 176 \div 181$ m/s, per cui il sottosuolo ricade in Depositi riferibili alla categoria di suolo C, al limite con suolo D.

Con riferimento al terzo livello di approfondimento richiesto, non potendo attualmente intervenire con prove geognostiche e sismiche nell'area, si sono operate valutazioni con dati raccolti in aree limitrofe che hanno giudicato non un effetto atteso il fenomeno della liquefazione e dei cedimenti post-simici.

Una analisi e una valutazione più precisa potranno essere operate quando le condizioni del sito permetteranno l'esecuzione delle indagini necessarie.

Ferrara, 29 dicembre 2010

Dr.geol. Marilena Martinucci

