



Comune: COMUNE DI CASTELLO D'ARGILE (BO)

Oggetto:

VARIANTE AL PSC n.1/2011

RELAZIONE GEOLOGICA

Stesura: giugno 2011

Elaborazione:

Dott. geol. Samuel Sangiorgi

Committente:

SVILUPPO COMUNE Srl





2. Terebrazioni

Dati gli obiettivi ancora preliminari dello studio si è scelto di utilizzare le prove statiche tratte dal repertorio del Comune di Castel d'Argile (P40, P41, P42, tratte da: D. Beltrame e L. Buldini, PRGC del 1992), e dal repertorio regionale (C028, C029, C030, C031) e la stratigrafia P403, tutte localizzate a sud dell'area in oggetto.

Tutte le prove utilizzate sono state effettuate con attrezzatura standard, tranne naturalmente la stratigrafia comunque ricavata con un discreto dettaglio, anche se relativa ai soli primi 5 metri di substrato.

L'interpretazione delle informazioni è relativa ai grafici penetrometrici relativi ai primi 10 metri di sottosuolo, dai dati di penetrazione (Q_c , f_s) è possibile desumere:

- la successione litologico - tessiturale ottenuta dalla lettura empirica del rapporto $\log Q_c / \log f_s(\%)$ (Robertson 1990), e la verifica alla liquefazione secondo Robertson 1996 ed Olsen 1996 (figura);
- i parametri meccanici dei sedimenti attraversati: nei sedimenti granulari la densità relativa (D_r) e l'angolo attrito (ϕ), nei sedimenti coesivi la coesione non drenata (c_u), il modulo edometrico, la consolidazione dei sedimenti (OCR);
- una stima della categoria di "suolo di fondazione" (punto 3.2.1 del DM 159/2005) tramite il calcolo delle $V_s 30$ ricavato indirettamente dai parametri meccanici fondamentali come c_u (R, Andrus et Al, 2001).

Dal punto di vista della definizione di edificabilità in termini puramente meccanici, gli esiti delle prove geognostiche sono stati classificati con la medesima metodologia utilizzata per la componente geomeccanica riportata nel Quadro Conoscitivo del P.S.C. Associato (G. Viel & S. Sangiorgi, 2004), ed a questo si rimanda per eventuali approfondimenti e delucidazioni. I primi 10 metri di sottosuolo indagato, sono stati suddivisi nei due tratti:

- da -1 a -5 metri sotto il piano campagna (p.c.)
- da -5 a -10 metri sotto il p.c.

Nella classificazione, tutti i valori di "qc" sono mediati in modo cautelativo (enfaticando i valori bassi) entro questi due intervalli. Per la valutazione di edificabilità, mancando ancora dati progettuali specifici, ci si è riferiti a fondazioni superficiali per generici edifici di 1 piano caratterizzati da una distribuzione delle sovrappressioni omogenea, geometrie della fondazione semplici (travi continue o plinti) e pressioni di esercizio inferiori a 7 t/ml. La pubblicazione del DM 159/2005, utilizza le lettere maiuscole per la zonizzazione sismica, per non generare confusioni e sovrapposizioni delle sigle utilizzate, la denominazione delle zone geotecniche viene modificata rispetto al PSC Associato, nel seguente modo:

Zonizzazione geotecnica PRGC	Nuove zone
O = terreni di qualità meccaniche pessime	X
A = terreni di qualità scadente	I



<i>Zonizzazione geotecnica PRGC</i>	<i>Nuove zone</i>
B = terreni scadenti 1° intervallo, normale 2° intervallo	II
C = terreni normali 1° intervallo, scadente 2° intervallo	III
D = terreni di qualità normale 1° e 2° intervallo	IV



3. Caratterizzazione

Nella figura 1 è riportata la localizzazione del comparto e delle prove geognostiche di repertorio utilizzate.

3.1 Idraulica e subsidenza

Il comparto non è mai stato coinvolto direttamente da allagamenti, in questi ultimi 50 anni. Non ci sono elementi storici che indichino presenza di rischio idraulico locale di qualche rilevanza. Anche dal Quadro Conoscitivo del PSC Associato risulta che allagamenti e locali esondazioni occorse nei 50 anni precedenti non hanno mai interessato direttamente l'area di progetto.

La subsidenza naturale (da 1,5 a 2 millimetri/anno, Selli e Ciabatti, 1977; Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della RER, 1998), accelerata di circa 15 volte (26 mm/anno) dall'eccessivo prelievo d'acqua sotterranea, coinvolge da decenni l'intera pianura bolognese, in particolare nel Capoluogo e nell'area di progetto durante il 2001 è stata registrata una velocità di abbassamento del suolo pari a 28 millimetri/anno (fonte ARPA, 2003).

Questo processo potrà determinare nel tempo problemi per il reticolo di scolo artificiale di superficie e profondo (fognature), una volta che i dislivelli naturali, che garantiscono ancora un drenaggio efficiente, verranno annullati, poi invertiti entro le conche di subsidenza. Ad oggi comunque non sono segnalati inconvenienti o limitazioni idrauliche di questa origine, neppure per le reti di fognatura.

3.2 Idrogeologia

Il livello statico medio dell'area nel 2003, come risulta dalla cartografia del Quadro Conoscitivo e dai precedenti lavori d'analisi idrogeologica, ha soggiacenza apparente (dislivello tra quota del p.c. e quota media piezometrica della falda) di poco inferiore ai 2 metri, mentre la soggiacenza reale (dislivello tra p.c. e quota del tetto dell'acquifero saturo) può superare i 4 metri. Il livello piezometrico del 2007 ha risentito della prolungata siccità con abbassamenti medi di circa 50 cm, attualmente la quota piezometrica si è ricollocata a circa 1,5 m dal p.c.

Le quote piezometriche registrate alla fine delle penetrometrie, nel foro di sondaggio, dopo l'estrazione delle aste, è discrepante con i livelli misurati nei pozzi a causa dei disturbi provocati nel sedimento dal passaggio della punta e delle aste, in particolare nella fase di estrazione, ed alla modesta trasmissività degli acquiferi attraversati (livelli di sabbie fini) che non consente il ripristino veloce della quota piezometrica.

La presenza di tessiture fini largamente prevalenti, non è ubiquitaria, come si vede nella figura, la presenza di un paleoalveo sabbioso è testimoniato proprio per l'area di progetto, la soggiacenza reale può quindi subire variazioni. La vulnerabilità della falda più superficiale non dovrebbe subire diminuzioni nel caso in oggetto proprio perché la costruzione richiede fondazioni certamente superficiali e la realizzazione del piazzale proteggerà l'acquifero anche se posto a quote relativamente superficiali.



Questi dati comunque limitano la possibilità di realizzare vani interrati, che comunque richiederebbero costose tecniche di impermeabilizzazione dei manufatti.

3.3 Geomeccanica

La figura dimostra come l'ambito di progetto sia diviso circa a metà dal limite tra le zone geotecniche "I" e "III". Ciò significa che la distribuzione delle caratteristiche meccaniche nel sottosuolo può essere disomogenea: i parametri peggiori sono rappresentati nella porzione orientale.

Tra i parametri desunti dalle penetrometrie di repertorio si sono scelte le verticali presenti nella zona "I" per elaborarne i valori ed estrapolarli all'area di progetto. Nell'interpretazione degli esiti ci si è avvalsi anche della stratigrafia del sondaggio (P403), localizzato a circa 60 metri dall'area di progetto, che rivela presenza di sabbie fini e finissime con bassa densità nell'intervallo tra 2 e 6 metri di profondità.

Nel medesimo intervallo le penetrometrie C028 ed ancor più la C029 (poste tra 100 e 170 metri dall'area di progetto) riportano la litologia "torba", che però è qui interpretata come sabbia finissima incoerente e con densità relativa molto bassa.

I parametri dei primi metri 9 di profondità, più interessanti dal punto di vista puramente geo-meccanico applicato, ottenuti dalle CPT C028 e C029, sono riportati nella tabella seguente:

Intervallo [m]	Qc MPa	Lito - tessiture	c _u [kPa]	OCR	φ[°]
0,00 – 0,80	1,07	Coperture argilloso-limose	77	40,4	--
0,80 – 1,40	0,45	Limo argilloso – argilla limosa	82		
1,40 – 3,50	0,60	Sabbia finissima-limo	43		<30°
3,50 – 4,50	1,17	Limo argilloso – argilla limosa	58	4,2	
4,50 – 9,00	0,50	Limo sabbioso-sabbia fine	39		<30°

In sintesi nei primi metri di sottosuolo:

1) nell'intervallo più superficiale tra circa 0,0 e 1,40 metri sono presenti valori di "Qc" (e di OCR) innaturali, dovuti a processi di essiccamento completamente reversibili in presenza d'acqua. Questi valori non devono essere considerati senza le opportune correzioni;

2) la colonna litologica è composta da limi e da sabbie finissime e fini con matrice limosa più o meno presente. Le coesioni non drenate fino ad 1,40 metri non devono essere considerate naturali, esse devono essere decurtate della componente dovuta all'essiccamento. L'intervallo tra 1,40 e 6,00 metri di profondità può essere costituito da un intervallo di sedimenti granulari finissimi a bassissima densità, dotato di parametri meccanici molto scadenti;

3) a profondità maggiori di 8 metri i parametri meccanici migliorano riportandosi su valori normali e tessiture fini.



L'esito delle prove geognostiche utilizzate per la zonizzazione geotecnica dimostra la presenza di due diverse zone, per i primi dieci metri, confermando così l'attribuzione alla zona geotecnica III del Quadro Conoscitivo del PSC Associato alla porzione occidentale. La figura riporta la ripartizione così come estrapolata dalle prove esaminate.

Per la classificazione di edificabilità, gli esiti penetrometrici permettono il calcolo della portanza ultima, secondo la nota formula di Terzaghi, applicata in questo caso nella sua forma più cautelativa, ovvero a "condizioni non drenate". In assenza di qualsiasi dato progettuale, si è stimata una pressione ultima relativa ad una semplice fondazione superficiale, nastriforme e continua (travi rovesce), con piano di incastro a -140 cm dal p.c, peso di volume dei terreni superficiali di 1,6 t/mc. Dalla formula semplificata di Terzaghi si ricava:

$$(5,14 \cdot 43) + (1,4 \cdot 16) = 243 \text{ kPa}$$

Naturalmente, questa semplice stima, in termini di "rottura", dovrà essere verificata anche in termini di ammissibilità dei cedimenti nelle successive fasi progettuali, una volta note le caratteristiche dei manufatti da realizzare.

L'area dunque è edificabile con fondazioni superficiali per costruzioni che distribuiscano sovrappressioni assai contenute, mentre edifici che impongano pressioni di esercizio unitarie significative, o con distribuzione disomogenea, richiedono fondazioni particolari, anche profonde, che trasferiscano le sovrappressioni all'intervallo profondo.

3.4 Risposta sismica locale

La definizione di un modello di sottosuolo valido per l'intero Capoluogo, fondato sui numerosi dati geognostici e geofisici raccolti per la zonizzazione sismica presentata nel PSC di Castello d'Argile, conserva la sua validità anche per questa variante.

I parametri generali corrispondono a quelli ricavati da specifiche prove geofisiche per ricavare le velocità delle onde di taglio V_s per i primi 30 – 40 metri di sottosuolo, confrontando questi valori con quelli desumibili dalle penetrometrie statiche con punta strumentata (CPTe/U) fino a 30 metri di profondità; dai sondaggi profondi e dalle analisi tomografiche per le profondità oltre i 60 metri.

Sull'insieme di questi dati si è dimostrata la correlabilità dei parametri principali:

- *Categoria del suolo di fondazione = C (verso il limite basso)*
- *Velocità onde S nei primi 30 metri $185 \text{ m/s} < V_s 30 < 215 \text{ m/s}$*
- *Profondità pseudobedrock = 120 metri*
- *V_s pseudobedrock = 600 m/s*

Questi dati sono stati implementati nel modello di simulazione sismica assieme alla stratigrafia mediamente rilevata, ed ai parametri geomeccanici di ognuno dei seguenti "strati" del modello:



1. Premessa

Si è redatta l'analisi geologico-tecnica per la definizione di edificabilità della Variante al PSC n.1/2011. La Variante propone di classificare un'area ricompresa all'interno di un <<Ambito ad alta vocazione produttiva agricola>>, come <<Ambito per attrezzature di maggiore rilevanza>>, non prevista in sede di PSC.

La nuova area viene identificata a margine dell'area produttiva comunale di via Centese, a sud-est del capoluogo, e sarà destinata ad accogliere delle funzioni pubbliche e di interesse pubblico.

Lo studio, commissionato dall'Amministrazione Comunale, è dunque finalizzato a determinare:

- la valutazione di idoneità geomeccanica preliminare;
- i parametri e la pericolosità sismica locale.

La figura 1 inserita nel testo localizza sulla Carta Tecnica Regionale l'area di progetto e le posizioni delle terebrazioni utilizzate per la definizione geotecnica del sottosuolo. Lo studio geologico preliminare è stato impostato in conformità alla normativa specifica vigente (D.M. n. 159 del 14/09/2005), ed alla Delibera Assemblea Legislativa (D.A.L.) della Regione Emilia Romagna n. 112/2007, in merito alla definizione sismica.



- sabbia con valori di densità relativa elevati ($D_r > 70\%$);
- sabbia con valori intermedi di densità relativa ($D_r \approx 50\%$);
- argilla con indice di plasticità compreso tra 10÷20;
- argilla con indice di plasticità compreso tra 20÷40 ;
- argilla con indice di plasticità compreso tra 40÷80;
- argille con livelli sabbiosi, utilizzate come bedrock sismico.

Naturalmente per produrre una simulazione di terremoto si sono introdotti i dati di input forniti dalla Regione: tre “sismi di progetto” già scalati per il Comune di Castel d’Argile, le cui sigle sono 046, 126 e 354 (vedasi la figura 4.3 della relazione geologica al PSC, che raffigura i sismogrammi relativi); la magnitudine massima attesa $M=5,54$; l’accelerazione al suolo per Castello d’Argile a $g=0,158g$.

I risultati ottenuti costituiscono il riferimento sismico locale anche per questa variante al PSC, e sono:

- *Frequenza fondamentale sedimenti: $f_0 = 1,8$ Hz*
- *Periodo fondamentale sedimenti: $T_0 = 0,55$ secondi*
- *Amplificazione PGA/PGA₀ = 2,15*
- *Amplificazione SI (accelerogramma 046) $0,1 \text{ sec} < T < 0,5 \text{ sec} = 1,5$*
- *Amplificazione SI (accelerogrammi 046) $0,5 \text{ sec} < T < 1 \text{ sec} = 1,8$*

I diagrammi relativi sono riportati nel PSC a cui si rimanda. In particolare può avere interesse l’andamento dei fattori di amplificazione (F.A.) in funzione dei periodi, che, per edifici con struttura in cemento armato, può fornire utili informazioni per la distribuzione dell’amplificazione in funzione del numero di piani degli edifici. Infatti edifici di 5-6 piani (periodo $T=0,55$ sec.) subirebbero il massimo di amplificazione (FA di $PGA=2,15$), mentre edifici ad un solo piano (periodo $T=0,1$ sec), come nel nostro caso, non avrebbero amplificazione del treno di onde sismiche in arrivo.

La tabella seguente riporta i valori dei picchi di amplificazione (PGA/PGA_0) ottenuti per le diverse frequenze:

Frequenze [Hz]	T - Periodo [secondi]	F.A. PGA
0,7	1,42	2,1
1,8	0,55	2,15
2,8	0,36	1,8
3,9	0,25	1,5

Anche i valori del fattore di amplificazione dello spettro di intensità (SI) rivestono una considerevole importanza nel calcolo strutturale, sopra sono riportati i valori più elevati tra quelli ricavati dal modello di simulazione sismica, essi derivano dal segnale 046.

Per quanto attiene gli effetti locali non esistono amplificazioni legate a fattori morfologici o topografici, l’unico effetto locale è quello dovuto alla possibile liquefazione o densificazione dei sedimenti saturi segnalati nel sottosuolo, in



presenza di impulsi ciclici (sisma). La possibilità di liquefazione di questi sedimenti appare relativamente remota perché le verifiche di laboratorio effettuate su sabbie simili per i Comuni di Castel Maggiore, Argelato, Granarolo (cfr i relativi PSC) hanno sempre dimostrato che occorrono terremoti di magnitudo superiore o uguale a quella massima prevista.



4. Conclusioni e prescrizioni

L'area in oggetto presenta requisiti di edificabilità, nei severi limiti posti e discussi nei paragrafi precedenti:

a) pressione ultima media di 240 kPa per fondazioni normali, con geometria a nastro, incastrate a 140 cm di profondità dal p.c;

b) per edifici che distribuiscano pressioni d'esercizio disomogenee, concentrate, o comunque superiori a 8 t/ml fondazioni superficiali a nastro appaiono insufficienti se si vuole contenere il cedimento assoluto entro limiti tollerabili;

c) non sono segnalati rischi idraulici specifici;

d) sussistono limitazioni alla realizzazione di vani interrati connesse alla tutela dell'acquifero;

e) classificazione sismica: Zona 3, $a_g = 0,158$, $M = 5,54$ (D.A.L.112/2007);

f) caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo "C"; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. $PGA = 2,15$; F.A. SI $0,1 \text{ sec.} < T < 0,5 \text{ sec.} = 1,5$; F.A SI $0,5 \text{ sec.} < T < 1 \text{ sec.} = 1,8$; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz;

g) rischio di liquefazione dei sedimenti granulari presenti nei primi 15 metri di sottosuolo.

Si prescrive, per la fase di progettazione di massima, la realizzazione di almeno due penetrometrie statiche con punta dotata di piezocono, spinte fino a 15 metri di profondità, da fare rispettivamente nella porzione occidentale ed in quella orientale dell'area. Le prove sono finalizzate a definire le condizioni geomeccaniche locali e le loro variazioni, e la distribuzione verticale delle tessiture.

Se verrà rilevata la presenza di strati granulari (sabbie, sabbie fini più o meno limose) di spessore superiore al metro e dotati di densità relativa inferiore al 65%, sarà indispensabile prelevare uno o più campioni su cui eseguire le analisi di laboratorio, necessarie a definire le reali possibilità locali di liquefazione dei sedimenti, eventualmente per studio fino al III livello di approfondimento (D.A.L. 112/2007).

Elaborazione:

dott. geol. Samuel Sangiorgi

