

Via Lasie n.10/L
40026 Imola - BOLOGNA



Studio Viel & Sangiorgi
Geologia Applicata

Comune:

COMUNE DI CASTELLO D'ARGILE (BO)

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
per gli Ambiti inseriti nel P.O.C.

Stesura:

Aprile 2009

Elaborazione:

Dott. geol. Giovanni Viel
Dott. geol. Samuel Sangiorgi
Dott. geol. Venusia Ferrari

Committente:

SVILUPPO COMUNE S.r.l.



G. Viel



S. Sangiorgi



V. Ferrari

tel. 0542 640279 fax 0542 647385 mail viel@studioviel.it sangiorgi@studioviel.it

www.studioviel.it





INDICE

1. PREMESSA	pag	1
2. GEOMECCANICA DEI SEDIMENTI		4
3. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE		5
4. CARATTERIZZAZIONE AMBITI DI POC		12
4.1 Capoluogo 6.1		12
4.2 Capoluogo 6.2		13
4.3 Capoluogo 6.3		14
4.4 Venazzano 9.1		15
5. PROPOSTA NORMATIVA		17



1. PREMESSA

La relazione geologica del POC ha il compito di precisare le caratteristiche fisiche che descrivono i singoli ambiti di futuro intervento, con riferimento alle possibilità e alle eventuali limitazioni edificatorie locali. Se per gli aspetti geomeccanici i compiti e le prestazioni di una relazione geologica preliminare appaiono chiari ed ormai “consueti”, per gli aspetti connessi alla pericolosità sismica occorre fare riferimento alla nuova normativa vigente, in particolare al D.M. 14/01/08 e Delibera Assemblea Legislativa (D.A.L.) della Regione Emilia Romagna n. 112/2007.

Il citato DM 14/01/08, ad oggi non ancora vigente (sottoposto ad un ulteriore periodo di regime transitorio dal D.L. 207/2008 anch'esso definito con “mille proroghe”), costituisce un buon riferimento per affrontare la pericolosità sismica. Dopo l'evento catastrofico che ha colpito la città e parte della provincia di Aquila pare sia in revisione questo ultimo periodo di proroga, tanto più che ormai sono state recentemente pubblicate anche le relative istruzioni applicative (Circolare n. 617 del 2/02/2009). A questo decreto, dunque, si farà riferimento sia per questo lavoro, sia per le direttive riferite alle analisi da compiere con i PUA.

In conclusione questa relazione considererà come parametri preliminari relativi all'edificabilità di ogni comparto solamente gli aspetti geo-meccanici generali e la pericolosità sismica generica, le altre informazioni generali relative all'edificabilità: morfologia, esondabilità, qualità e vulnerabilità delle acque sotterranee, sono esposti e discussi nella relazione geologica del quadro conoscitivo del PSC Associato

I parametri geomeccanici e quelli della pericolosità sismica per ogni ambito calcolati in questa relazione non sono riferiti ad un progetto sia pure di massima, che in questa fase della pianificazione non può ancora esistere, ma hanno il compito di fornire una prima guida per le scelte strutturali, anche in termini di valutazione dei costi, in funzione alle prestazioni richieste per edifici o opere d'ingegneria nella fase ancora pre progettuale. Con i PUA sarà possibile e necessario approfondire le conoscenze locali in stretta relazione alla tipologia ed all'importanza dell'opera che si vuol realizzare ed alla sua progettazione preliminare.

Le figure 1 e 2 localizzano gli ambiti, con le loro sigle identificative, inseriti per qualunque destinazione d'uso nel POC, ed i punti di controllo utilizzati per la caratterizzazione geomeccanica e sismica.

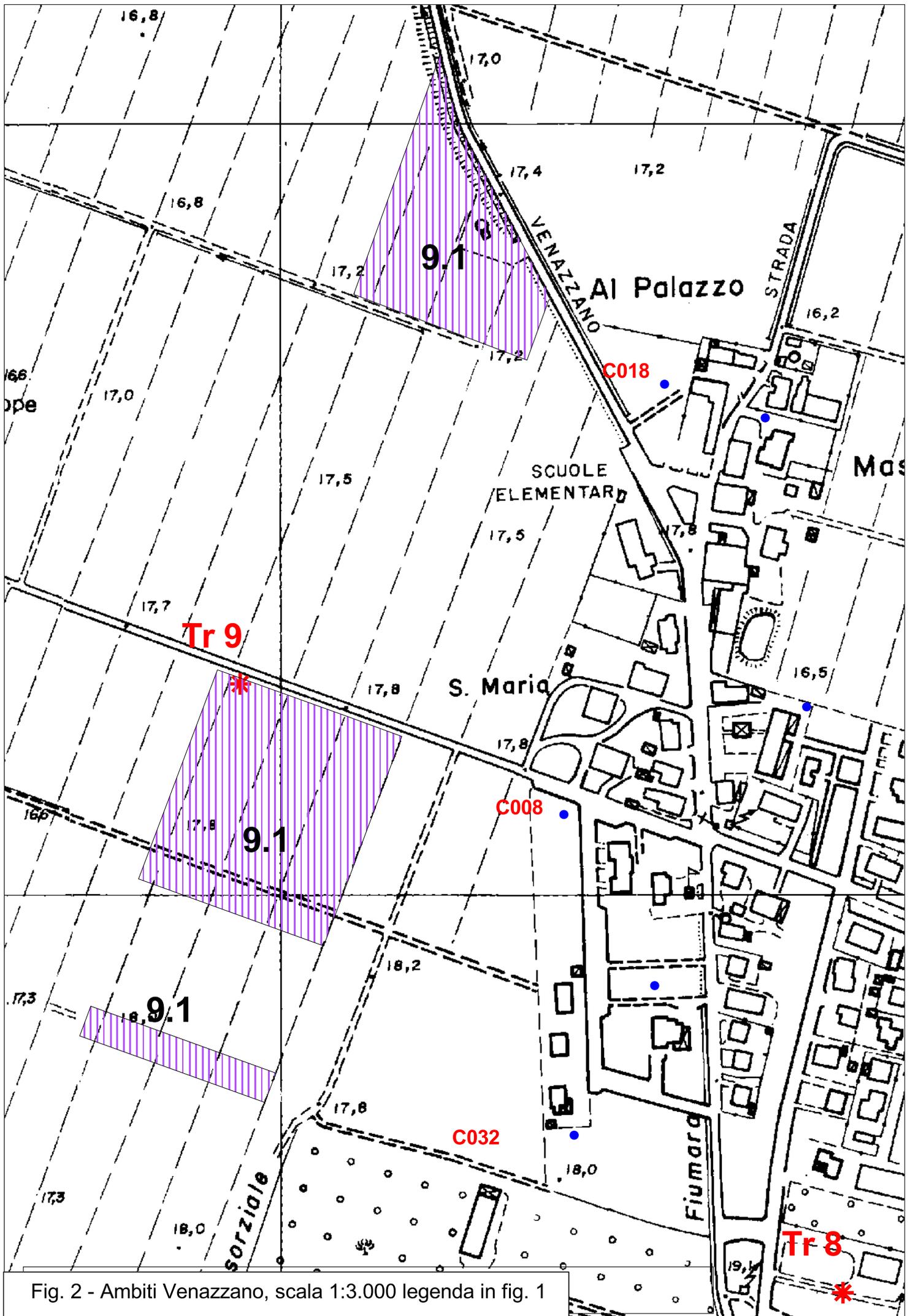


Fig. 2 - Ambiti Venazzano, scala 1:3.000 legenda in fig. 1

2. GEOMECCANICA DEI SEDIMENTI

Per la caratterizzazione geotecnica, in assenza di ogni riferimento progettuale, decisamente prematuro in questa fase della pianificazione, si è proceduto calcolando la pressione ammissibile (Q_{ad}) dai parametri fondamentali ricavati dalle prove geognostiche effettuate e di repertorio. La formula di calcolo utilizzata è quella classica di Terzaghi:

$$Q_{ult} = C_{nc} + \gamma DN_q + 0,5\gamma BN_{\gamma} \quad (1)$$

valida per condizioni drenate (angolo di attrito interno $\varphi \neq 0$), cioè per la stabilità nel lungo periodo in sedimenti granulari; nei sedimenti coesivi la stessa equazione si semplifica dell'ultimo termine, che si annulla per φ tendente a 0. Ora si è dimostrato che, nei sedimenti coesivi, le condizioni più cautelative per la stima delle pressioni di rottura sono quelle calcolate per la stabilità nel breve periodo (condizioni non drenate). Infatti la misura dell'angolo di attrito interno efficace nelle argille drenate, non può essere effettuata se non falsando le condizioni di esecuzione della misura, e l'esito contiene sempre una componente ascrivibile invece alla coesione non drenata.

La semplice considerazione della coesione non drenata (c_u), come valore riassuntivo dei due parametri drenati (taglio e coesione efficaci), riesce a stimare meglio il comportamento reale dell'ammasso di sedimenti coesivi. Così la relazione (1) diviene:

$$Q_{ult} = 5,14 c_u + 1\gamma D \quad (2)$$

La spessore di sedimenti coinvolti nella "rottura" per fondazioni a trave rovescia, è stimato pari a circa 0,60 m, sotto la profondità d'incastro della struttura. Il calcolo della pressione ultima (Q_{ult}), è stato effettuato utilizzando parametri mediamente validi per lo spessore di 60 cm, considerato a partire da 1,6 metri dal p.c, quota d'incastro di fondazioni a nastro superficiali (D); il peso di volume dei terreni superficiali, è stato considerato mediamente pari a 16 kPa, il valore del carico ammissibile (Q_{ad}) si è ricavato adottando il coefficiente di sicurezza 3, di legge.

Occorre però precisare che in realtà è improprio ritenere che il risultato del calcolo della pressione ultima (Q_{ult}), e la pedissequa applicazione del coefficiente di sicurezza di legge (3), fornisca la Q_{ad} . Infatti, l'ammissibilità della pressione di esercizio di un edificio dipende anche e soprattutto dall'entità dell'interazione struttura-sedimenti, in altre parole dal valore del cedimento assoluto e

differenziale in relazione alle caratteristiche della struttura. Pertanto i valori di Qad riportati nelle tabelle devono essere considerati come risultati preliminari e generici, la stima della reale Qad dovrà essere fatta per ogni situazione, una volta noti i dati progettuali e l'entità dei cedimenti effettivamente accettabili dalle strutture.

Le informazioni di base da inserire nella funzione di calcolo, e la scelta tra l'equazione (1) o (2), derivano direttamente dagli esiti delle prove penetrometriche considerate per questo lavoro, o dal repertorio geognostico più volte citato. La trasformazione dei dati numerici nei parametri riportati nelle tabelle è stata effettuata con le seguenti relazioni:

- i valori di ϕ' (angolo di attrito efficace), ottenuti tramite Durgunoglu e Mitchell, 1973, Meyerhof, 1951-1976, De Beer 1965-67, testate per sabbie N.C e S.C.;
- la densità relativa (D.R.), correlazioni di Schmertmann (1976) ben testate da Baldi (1978) e Lancellotta (1983);
- i valori di c_u , possono essere ricavati anch'essi da varie correlazioni empiriche, in particolare qui si adottano quelle di Terzaghi, Lunne-Robertson-Powel (1977), Baligh et al. (1980), tra le più note e cautelative in termini di risultati forniti;
- i valori di OCR (grado di sovraconsolidazione), che permettono di ricostruire lo stato tensionale dell'intervallo roccioso attraversato, Ladd e al. (1977), Piacentini-Righi (1978).

I riscontri utilizzati ed i risultati ottenuti sono riportati, per ogni comparto nei paragrafi da 4.1 a 4.4.

3. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La relazione geologica del PSC di Castel d'Argile ha dimostrato con ampio riscontro (Oltre 40 prove geognostiche di repertorio e 16 prove geognostiche e geofisiche di nuova realizzazione) la buona correlabilità dei dati geomeccanici e sismici di questo quadrante di pianura, e quindi l'estrapolabilità dei loro risultati. Si può concludere che nelle aree indagate la **categoria di sottosuolo di fondazione mediamente ricostruita è la "C"**, questo esito può essere esteso all'intera area urbanizzata del Capoluogo e della frazione di Venazzano.

La buona correlabilità dei parametri di sottosuolo ha consentito anche di elaborare un solo modello di simulazione sismica (3° livello di approfondimento della delibera regionale) valido per tutti gli ambiti inseriti nel POC, e di realizzare una microzonizzazione sismica fondata sulle conoscenze di sottosuolo, acquisite con un così ampio repertorio di verticali di controllo, derivata essenzialmente dalla distribuzione delle sabbie potenzialmente liquefacibili.

Il modello di simulazione sismica è stato costruito imponendo il pseudobedrock sismico a 120 metri di profondità, a questo è stata attribuita una Velocità delle onde S (V_s) pari a 600 m/s, la colonna litologica di riferimento è stata desunta dall'insieme delle stratigrafie note ed analizzate. La profondità del pseudobedrock sismico è stata stimata dagli esiti delle 11 analisi tomografiche che hanno fornito un contrasto d'impedenza coincidente circa con le frequenze tra 0,7 e 0,9 Hz; intervallo di frequenza tra 1,5 e 0,3 Hz in cui tutte le tracce mostrano l'inversione della componente verticale del moto (vedi figure in appendice alla relazione geologica del PSC) segno di una variazione di velocità che può essere assunta come pseudo-bedrock. La citata relazione geologica del PSC motiva le scelte effettuate e dettaglia i passaggi dell'elaborazione con modello dei dati di sottosuolo e geofisici.

Le analisi effettuate per il PSC sono di qualità tale da consentire un'ampia verifica dei risultati ottenuti anche per gli ambiti di POC, anche consultando solamente le prove realizzate per il PSC, prove comunque confermate anche dalle analisi di repertorio, e cioè:

- 1 CONO SISMICO spinto fino a 31 metri di profondità, nel Capoluogo;
- 1 MASW a 35 metri, realizzata nel Capoluogo;
- 4 penetrometrie statiche con punta strumentata elettrica e piezocono (CPTE/U) spinte in profondità a 30 metri o a rifiuto alla penetrazione (21, 22 metri), che consentono il calcolo dettagliato delle V_s lungo la verticale di penetrazione.

Il modello numerico di risposta sismica locale, riferibile sia al Capoluogo Castello D'Argile sia alla frazione Venazzano è stato elaborato impostando 6 differenti litotipi, variamente ripetuti (figura 3-1a):

- 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 con bedrock sismico.

Per il Comune di Castello D'Argile, i dati fondamentali del sisma forniti dalla Delibera regionale sono: magnitudine $M = 5,5$ ed accelerazione di picco al substrato $a_g = 0,158g$. Gli accelerogrammi in ingresso imposti dalla delibera regionale sono raffigurati nella relazione geologica al PSC (figura 4.3), prima del modello.

Capoluogo

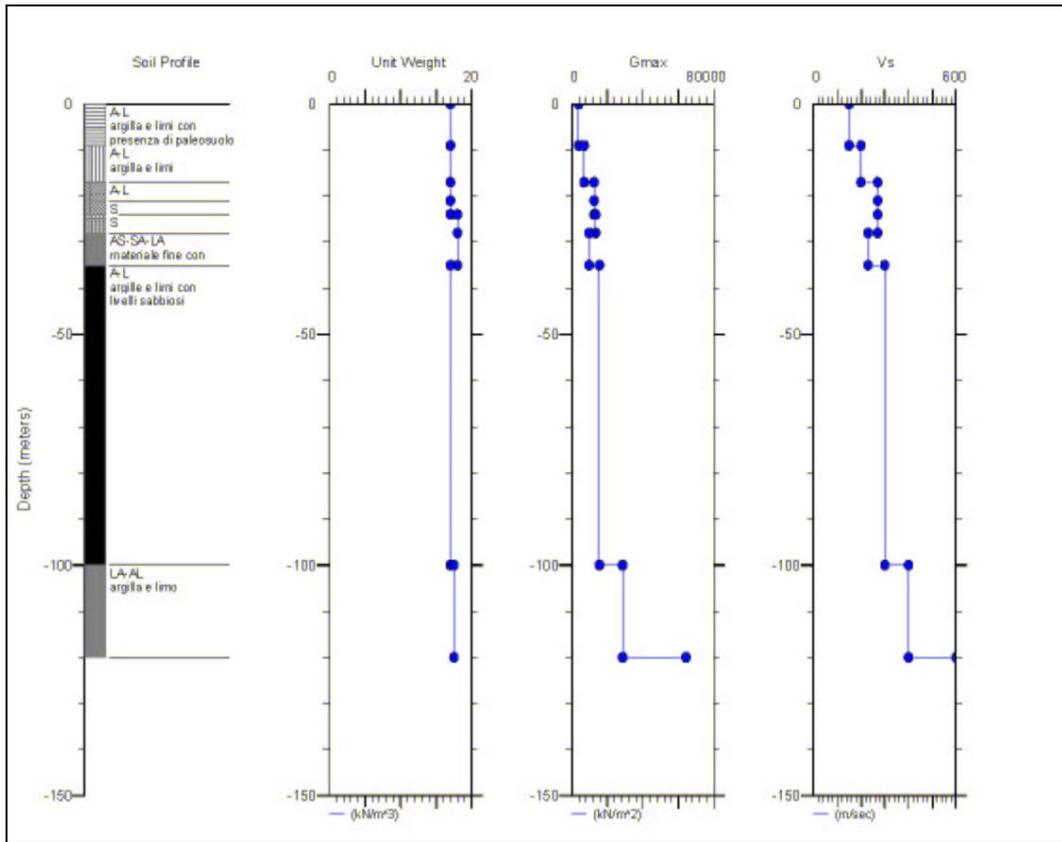


Figura 3-1a Stratigrafia di riferimento schematizzata utilizzata per la modellazione sismica

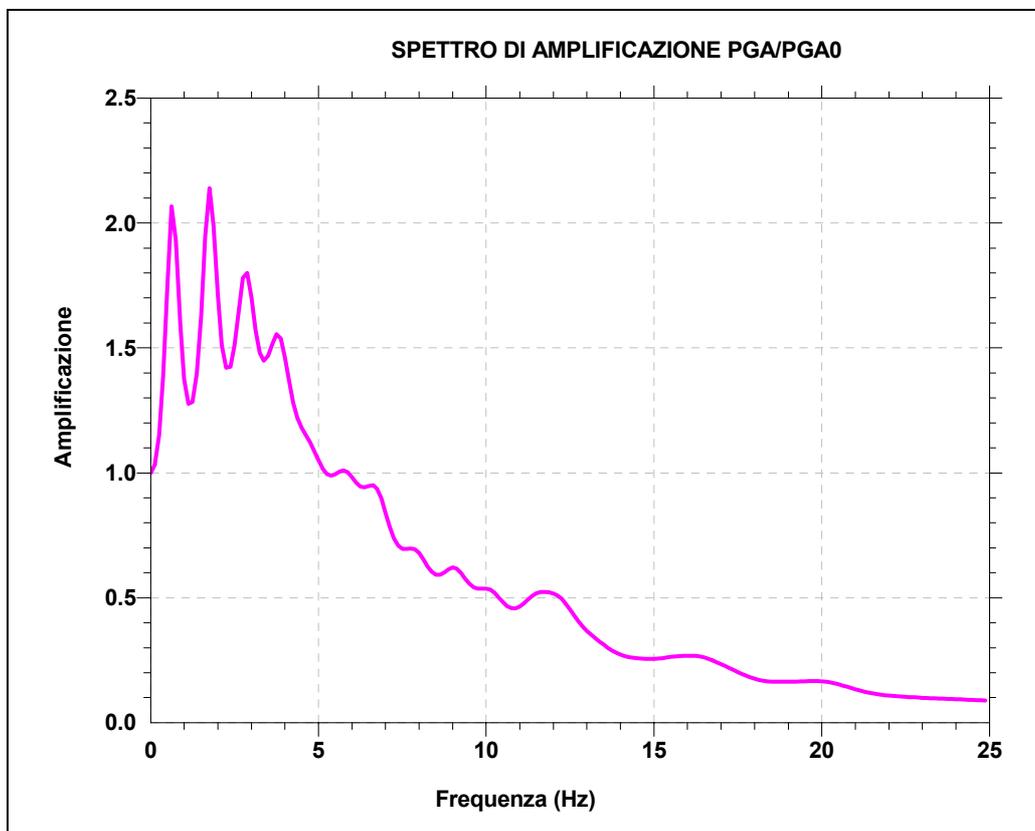


Figura 3-1b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo la colonna litologica tipo

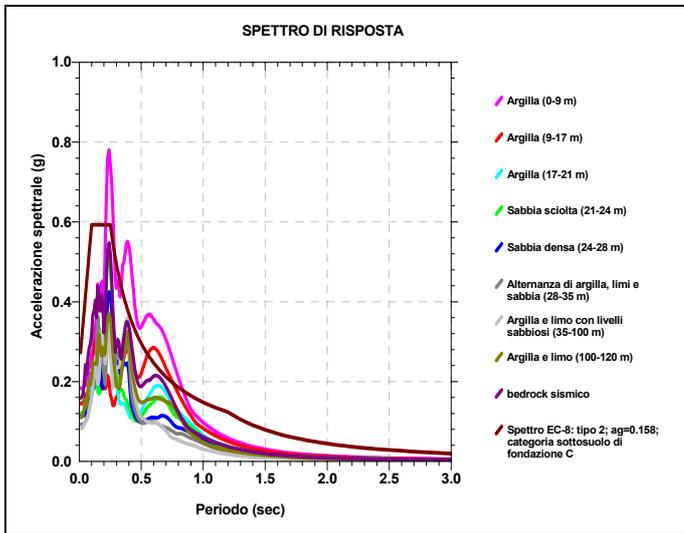


Figura 3.1c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

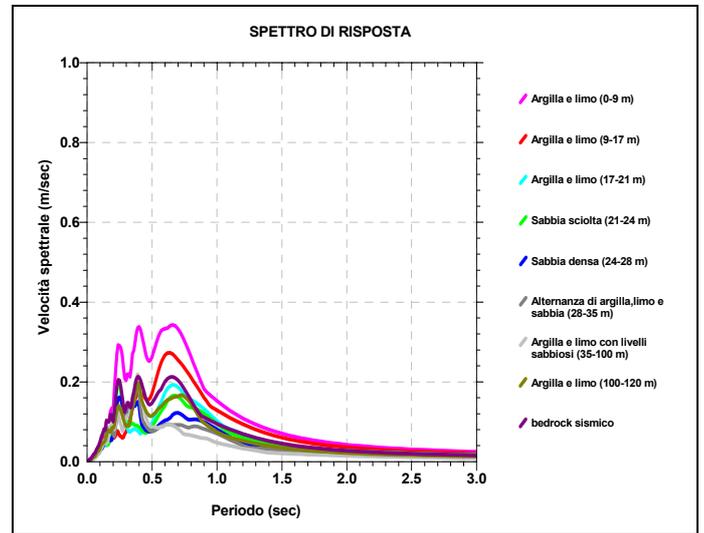


Figura 3.1d Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

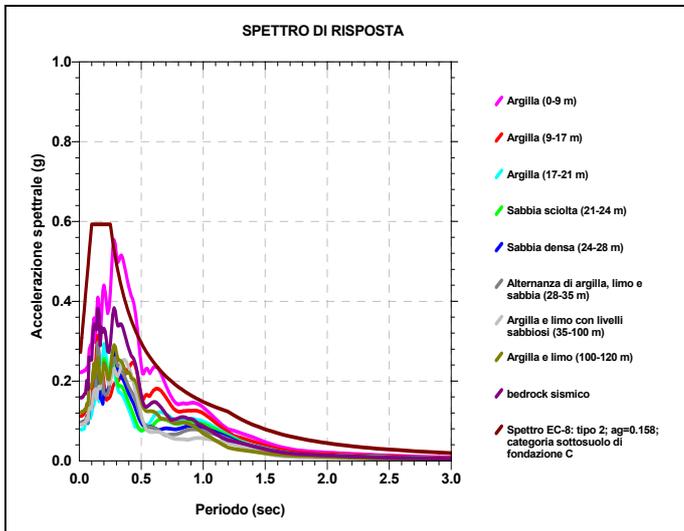


Figura 3.1e Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000126

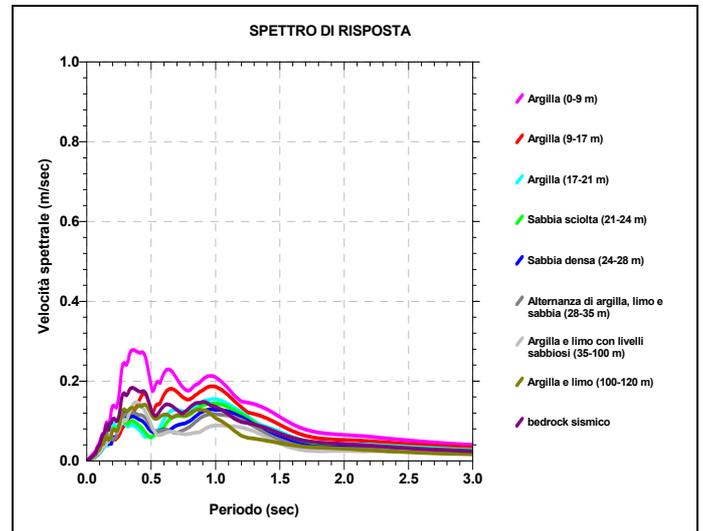


Figura 3.1f Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000126

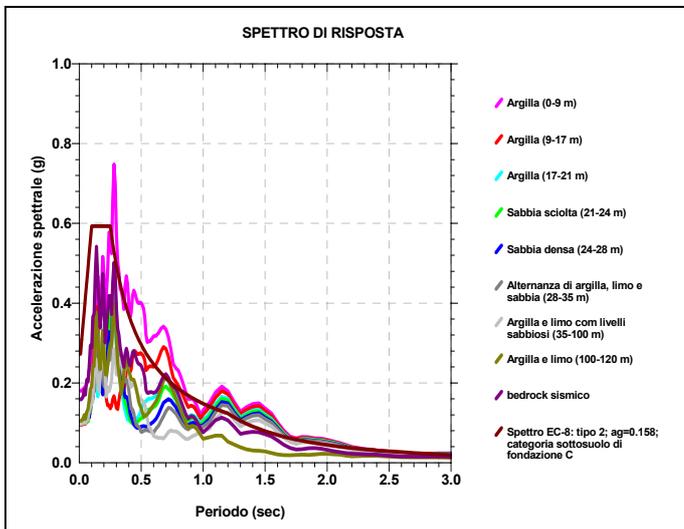


Figura 3.1g Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000354

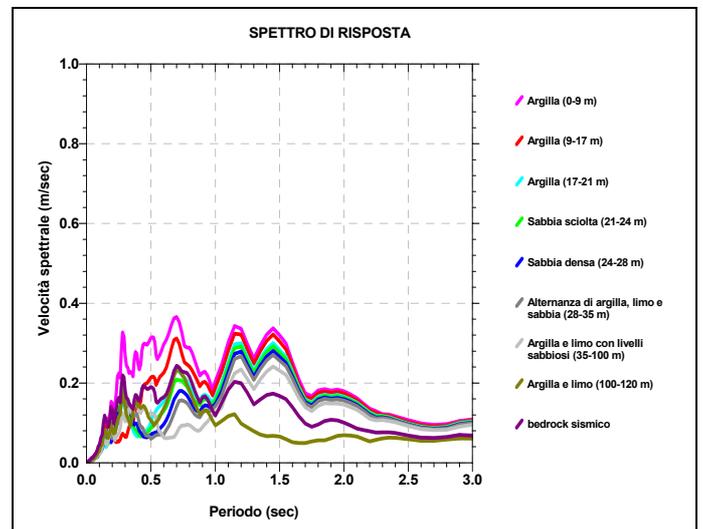


Figura 3.1h Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000354

Dal modello (già pubblicato nel PSC) si ottengono diverse informazioni utili per la progettazione strutturale per ogni input sismico di riferimento (cfr. fig 4.3 della relazione geologica al PSC): pseudoaccelerazione spettrale (PSA), pseudovelocità spettrale (PSV), fattore di amplificazione (FA).

- Il primo spettro ottenuto riguarda la PSA. Nelle figure 3.1c, 3.1e, 3.1g, viene mostrato il comportamento dell'accelerazione spettrale attraverso i diversi strati che compongono la colonna litologica tipo, utilizzata nella modellizzazione per diversi valori di periodo, da 0 a 3 secondi.

L'andamento dell'accelerazione è stato confrontato con lo spettro di risposta fornito dall'EC-8, scalato per il Comune di Castello D'Argile, ottenuto implementando la magnitudo ($M=5,5$), categoria di suolo di fondazione C, ed $a_g = 0,158g$.

- Il secondo spettro ottenuto riguarda la PSV, ossia la pseudovelocità (figure 3.1d, 3.1f, 3.1h). Questo mostra il comportamento della velocità spettrale, in funzione del periodo compreso tra 0 e 3 secondi, nei diversi layers della colonna litologica, in base all'input sismico applicato.

I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore IS, *Intensità Spettrale di Housner* richiesto nel terzo livello di caratterizzazione (Delibera regionale n 112/2007). L'intensità di Housner-IS è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.

La tabella seguente riporta i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.) relativo all'Intensità Spettrale, ottenuti per Castel d'Argile

Segnale reg.	F.A. IS 0 – 0,5 sec	F.A. IS 0,5 – 1 sec
354	1,42	1,52
126	1,43	1,50
046	1,48	1,78

- Il terzo spettro ottenuto riguarda l'amplificazione locale (figura 3.1b). Per amplificazione si intende il rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza "f".

Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la *funzione di amplificazione A(f)* del deposito.

Il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito, e molto importante risulta la prima frequenza naturale di vibrazione f_1 denominata *frequenza fondamentale*, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore massimo.

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale di circa 1,8 Hz (figura 3.1b), il fattore di amplificazione (FA) relativo risulta pari a 2,15. Nel complesso l'esito del modello fornisce un quadro dei F.A. superiori a 1 per tutti i periodi (T) compresi tra 0,25 sec <T< 1,4 sec. Considerando che al periodo è fatto corrispondere (in prima approssimazione) il numero di piani degli edifici, si può sostenere che gli edifici di 5÷6 piani (T=0,55, ossia f= 1,8 Hz) saranno sottoposti all'amplificazione massima pari a 2,15; gli edifici di 3÷4 piani (T=0,36 ossia frequenza di 2,88 Hz) saranno sottoposti ad un'amplificazione di 1,8; mentre edifici di 2÷3 piani (T=0,25) subiranno un'amplificazione sismica pari a 1,5.

La tabella seguente riporta i valori dei picchi di amplificazione (PGA/PGA₀) ottenuti per le diverse frequenze (figura 3.1b):

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

I medesimi parametri ricavati utilizzando le tabelle della delibera regionale (**2° livello di approfondimento**) porterebbero ai seguenti valori di amplificazione:

F.A. di PGA=1,5; F.A. IS 0,1<T<0,5 sec=1,8; F.A. IS 0,5<T<1 sec=2,5

Questi esiti, riportati per completezza d'informazione, sono stati assunti nel PSC e nella relativa cartografia, per consentire la scelta tra analisi locale di terzo livello e risultati regionali di secondo livello. In questa fase di POC la scelta è quella di applicare gli esiti dell'analisi locale ottenuta con esplicito modello di simulazione sismica ricavato dalle informazioni di sottosuolo locali.

In conclusione, i risultati del modello forniscono i seguenti parametri sismici, fondamentali per la progettazione strutturale antisismica locale:

- Categoria del suolo di fondazione: **C**
- Spessore della colonna stratigrafica sottoposta ad amplificazione: **120 m**
- Magnitudine regionale attribuita: **M = 5,5**



- Accelerazione al substrato per il comune di Castel D'Argile: $a_g = 0,158_g$
- Frequenza fondamentale sedimenti: $f_0 = 1,8 \text{ Hz}$
- Periodo fondamentale sedimenti: $T_0 = 0,55 \text{ secondi}$
- Amplificazione PGA/PGA₀ = **2,15**
- Amplificazione SI (accelerogramma 046) $0,1 < T < 0,5 \text{ sec} = 1,5$
- Amplificazione SI (accelerogrammi 046) $0,5 < T < 1 \text{ sec} = 1,8$

Si ritiene che gli esiti analitici di **terzo livello di approfondimento**, ottenuti con il PSC del Comune di Castello d'Argile, siano ampiamente sufficienti a determinare il grado di conoscenza del comportamento sismico del sottosuolo per gli ambiti del primo POC del Comune di Castello d'Argile, e per fornire le direttive tecniche per la successiva esecuzione dei PUA. Le norme espone nell'ultimo paragrafo indicano le modalità di modifica, per i PUA, dei parametri fondamentali esposti e le analisi geologiche e geofisiche da realizzare per controllo.

La presenza di antichi alvei del F. Reno ha condizionato la zonizzazione del PSC: tavola 1 e figura 5 della relazione geologica al PSC), l'insieme dei punti di controllo noti ha evidenziato la presenza di possibili problemi di liquefacibilità solamente nell'ambito "Capoluogo 6.1". Gli altri ambiti sono risultati privi di sedimenti capaci di liquefazione o densificazione in occasione di scuotimenti ciclici (sisma), come documentato nel paragrafo 4.5 della relazione geologica al PSC. Eventuali altre informazioni di sottosuolo, di maggior dettaglio, potranno e dovranno essere raccolte nell'ambito delle analisi per i PUA, ed analizzate con le medesime modalità utilizzate nel citato paragrafo 4.5 della relazione geologica al PSC.

4. CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI DI POC

4.1 Ambito Capoluogo 6.1

Localizzazione: ad ovest del Capoluogo, lungo via Zambeccari, quota di terreno circa 20 m slm.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: esterni all'ambito per scopi stratigrafici (archivio regionale) P507 e P607; per scopi geomeccanici CPTU (archivio studio scrivente) variante; (questo lavoro) TR3; TR4.

Geologia: probabile presenza di sabbie nei primi 12 metri di sottosuolo, legate allo sviluppo di un alveo antico del Reno. Nell'Olocene le divagazioni del Reno e delle sue docce di piena occupavano un'ampia zona in destra idrografica e la presenza/assenza di queste tracce sabbiose deve essere verificata con attenzione poiché queste sabbie hanno dimostrato di essere liquefacibili per sismicità di poco superiori a $M=5,5$ (cfr PSC di Castel Maggiore ed Argelato). Questo ambito è disposto al margine di questa zona e le verifiche devono essere svolte con cura.

Idrogeologia: il livello piezometrico di poco superiore ai 18 metri slm, la soggiacenza è spesso superiore ai 4 metri per il confinamento al tetto quasi sempre riscontrato. La vulnerabilità della falda è dunque bassa al suolo, ma aumenta molto rapidamente in presenza di scavi e strutture di fondazione, necessariamente incastrate nel sottosuolo. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata in classe II (una sola analisi).

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento, che possono portare a conclusioni errate sulle caratteristiche geomeccaniche del substrato più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (incastrate a 1,60 metri dal p.c) possono essere: in sedimenti coesivi la coesione non drenata $c_u = 45$ kPa; in presenza di sabbie oloceniche (caso assai poco probabile nei primi 4 metri di sottosuolo) ϕ' raramente superiore a 34° e densità relativa (DR) minore al 50%, la pressione ammissibile calcolata per una profondità di incastro della trave di fondazione di 1,6 metri ed un peso di volume di 16 kPa, risulta di 85 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3, $a_g=0,158$ (D.A.L. 112/2007).

Caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo "C"; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. $PGA=2,15$; F.A. IS $0,1 < T < 0,5$ sec = 1,5; F.A. IS $0,5 < T < 1$ sec = 1,8; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz.

Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 5 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno due penetrometrie statiche con punta strumentata CPTU,

spinte oltre i 15 metri di profondità finalizzate a verificare la presenza di sedimenti granulari liquefacibili di potenza superiore al metro, se rinvenuti esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (D.A.L. 112/2007). Nel caso di opere sotterranee oltre i 4 metri di profondità, oppure di fondazioni profonde (pali), sarà indispensabile una relazione idrogeologica che quantifichi i danni all'acquifero ed i suoi gli effetti sulla falda.

4.2 Ambito Capoluogo 6.2

Localizzazione: a sud-ovest del Capoluogo, lungo via San Pancrazio, quota di terreno circa 21 m slm.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: esterni all'ambito, per scopi stratigrafici stratigrafie (archivio regionale) P405 e P407; e geomeccanici (archivio regionale) CPT C014 e C036.

Geologia: ad oggi ignota la presenza di sabbie più o meno limose per spessori superiori al metro nei primi 15 metri di sottosuolo, possibili antichi alvei del Reno disposti a profondità maggiori. La successione di sedimenti è in larga prevalenza limosa e limoso argillosa.

Idrogeologia: il livello piezometrico di poco superiore ai 18 metri slm, la soggiacenza è spesso superiore ai 4 metri per il confinamento al tetto quasi sempre riscontrato. La vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori, l'acquifero è costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività, e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata in classe II (una sola analisi).

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento, che possono portare a conclusioni errate sulle caratteristiche geomeccaniche del substrato più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (incastrate a 1,60 metri dal p.c) sono misurati in sedimenti coesivi con la coesione non drenata $c_u = 50$ kPa, da cui deriva una stima preliminare della portanza ammissibile pari a 91 kPa, per fondazioni poste a 1,6 metri dal p.c. con un peso di volume del sedimento di 16 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3, $a_g=0,158$ (D.A.L. 112/2007).

Caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo “C”; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. PGA=2,15; F.A. IS $0,1 < T < 0,5$ sec = 1,5; F.A. IS $0,5 < T < 1$ sec = 1,8; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz.

Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 8 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno due penetrometrie statiche con punta strumentata CPTU, spinte oltre i 15 metri di profondità finalizzate a verificare la presenza di sedimenti granulari liquefacibili di potenza superiore al metro, se rinvenuti esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (D.A.L. 112/2007).

4.3 Ambito Capoluogo 6.3

Localizzazione: ad ovest del Capoluogo, tra via Zambecari e via S. Pancrazio, quota di terreno circa 20,5 m slm.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: interno all’ambito CPTU (archivio regionale) U504, (archivio Studio Scrivente) TR3; esterni all’ambito CPT (archivio regionale) C018, C036, (archivio Studio Scrivente) TR4.

Geologia: ad oggi ignota la presenza di sabbie più o meno limose per spessori superiori al metro nei primi 15 metri di sottosuolo, possibili antichi alvei del Reno disposti a profondità maggiori. La successione di sedimenti è in larga prevalenza limosa e limoso argillosa con intercalazioni di sabbie di spessore inferiore al metro.

Idrogeologia: il livello piezometrico di poco superiore ai 18 metri slm, la soggiacenza è spesso superiore ai 4 metri per il confinamento al tetto sempre riscontrato. La vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori, l’acquifero è costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività, e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata in classe II (una sola analisi).

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento, che possono portare a conclusioni errate sulle caratteristiche geomeccaniche del substrato più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (incastrate a 1,60 metri dal p.c) sono misurati in sedimenti coesivi con la coesione non drenata $c_u = 50$ kPa, da cui deriva una stima preliminare della portanza ammissibile pari a 91 kPa, per

fondazioni poste a 1,6 metri dal p.c. con un peso di volume del sedimento di 16 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3, $a_g=0,158$ (D.A.L. 112/2007).

Caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo “C”; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. PGA=2,15; F.A. IS $0,1 < T < 0,5$ sec = 1,5; F.A. IS $0,5 < T < 1$ sec = 1,8; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz.

Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 6 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno una penetrometria statica con punta strumentata CPTU, spinta oltre i 15 metri di profondità finalizzata a verificare la presenza di sedimenti granulari liquefacibili di potenza superiore al metro, se rinvenuti esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (D.A.L. 112/2007).

4.4 Ambito Venazzano 9.1

Localizzazione: ad ovest della Frazione di Venazzano, lungo Strada di Venazzano, quota di terreno attorno a 17 m slm.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: interno all’ambito (Studio Scrivente) TR9; esterni all’ambito CPT (archivio regionale) C008, C018, C032.

Geologia: ad oggi ignota la presenza di sabbie più o meno limose per spessori superiori al metro nei primi 15 metri di sottosuolo, possibili antichi alvei del Reno disposti a profondità maggiori. La successione di sedimenti è in larga prevalenza limosa e limoso argillosa con intercalazioni di sabbie di spessore inferiore al metro.

Idrogeologia: il livello piezometrico da sud a nord è compreso tra 15,50 e 14,30 metri slm, la soggiacenza è in genere superiore ai 3 metri. La vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori, l’acquifero è costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività, e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata incerta a causa della scarsità di campioni d’acqua locali.

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento, che possono portare a conclusioni errate sulle caratteristiche geomeccaniche del substrato più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (incastrate a 1,60 metri dal p.c) sono misurati in sedimenti coesivi con la coesione non drenata $c_u = 58$ kPa, da cui



deriva una stima preliminare della portanza ammissibile poco superiore a 100 kPa, per fondazioni poste a 1,6 metri dal p.c. con un peso di volume del sedimento di 16 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3, $a_g=0,158$ (D.A.L. 112/2007).

Caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo “C”; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. PGA=2,15; F.A. IS $0,1<T<0,5$ sec = 1,5; F.A. IS $0,5<T<1$ sec = 1,8; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz.

Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 9 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno tre penetrometrie statiche con punta strumentata CPTU, spinta oltre i 15 metri di profondità finalizzate a verificare la presenza di sedimenti granulari liquefacibili di potenza superiore al metro, se rinvenuti esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (D.A.L. 112/2007).

5. PROPOSTA NORMATIVA

Art. 1 – Parametri sismici di riferimento per i PUA.

Tutti gli ambiti di PUA fanno riferimento ai seguenti parametri sismici, ottenuti inserendo i segnali di riferimento della Regione Emilia Romagna scalati per Castello D'Argile:

- Categoria del suolo di fondazione: **C**
- Spessore della colonna stratigrafica sottoposta ad amplificazione: **120 m**
- Magnitudine regionale attribuita: **$M = 5,54$**
- Accelerazione al substrato per il comune di Castel D'Argile: **$a_g = 0,158g$**
- Frequenza fondamentale sedimenti: **$f_0 = 1,8 \text{ Hz}$**
- Periodo fondamentale sedimenti: **$T_0 = 0,55 \text{ secondi}$**
- Amplificazione PGA/PGA₀ = **2,15**
- Amplificazione IS (input sismico 046) $0,1 < T < 0,5 \text{ sec} = 1,5$
- Amplificazione IS (input sismico 046) $0,5 < T < 1 \text{ sec} = 1,8$.

Art. 2 – Variazione della microzonizzazione e dei parametri sismici locali stabiliti dal PSC e POC.

2.1 - I PUA potranno variare la zonizzazione ed i fattori di amplificazione attribuiti (F.A.) ad ogni ambito di POC, solamente a seguito di approfondite indagini geognostiche e prospezioni geofisiche.

2.2 - Le analisi geognostiche e geofisiche dovranno essere eseguite con strumentazione rispondente agli standard (ISRM, ASTM, BS, AGI) richiamati nella Circolare del 16/12/1999 n. 349/STC D.P.R. n. 246 del 21.4.93, art. 8 comma 6 <Concessione ai laboratori per lo svolgimento delle prove geotecniche sui terreni e sulle rocce ed il rilascio dei relativi certificati ufficiali>. Questo documento di riferimento, richiama l'utilizzazione soltanto di alcune tra le più diffuse prove geotecniche in sito <... per le quali esiste un consolidato bagaglio di conoscenze tecniche>. Per gli standard di fabbricazione di questi strumenti d'indagine e per le norme d'esecuzione delle prove, la Circolare fa riferimento alle "raccomandazioni" dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI), versione 1977.

2.3 - I PUA, per modificare i parametri di cui all'art. 1, dovranno effettuare ricerche di dettaglio finalizzate a definire:

- la profondità del “bedrock sismico” locale. Entro i 60 metri di profondità può costituire “bedrock sismico” lo strato che fornisca un significativo incremento maggiore del 40% della V_s a partire da 350 m/s. In assenza di un simile strato, il “bedrock sismico” può essere posto alla profondità a cui l'extrapolazione delle V_s note, seguendo il gradiente di incremento, raggiunge perlomeno i 600 m/s¹;
- le velocità delle onde di taglio V_s , per fondazioni superficiali almeno per i primi 31 metri dal p.c, misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;
- le quote piezometriche e le soggiacenze della falda locale.

Art. 3 – Indagini obbligatorie per i PUA

3.1 - Per ogni PUA sono obbligatorie indagini geognostiche finalizzate alla definizione del livello statico della falda locale, alla stima delle sue fluttuazioni massime (anche sul base bibliografica), alla determinazione dei parametri geomeccanici locali. Il numero delle verticali d'indagine e la loro profondità dovranno essere congrui all'importanza delle opere di progetto (D.M. del 14/01/2008, D.M. 159/2005). Dette indagini dovranno comunque essere spinte in profondità fino a garantire un intervallo di conoscenza proporzionato alle strutture, ma comunque al minimo di 12 metri dal piano campagna, in presenza di strati granulari grossolani impenetrabili dalle punte dei penetrometri statici e/o dinamici pesanti, occorrerà procedere con sondaggi a carotaggio continuo.

3.2 - Per ogni PUA sono obbligatorie indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle tessiture dei sedimenti per un intervallo di 15 metri dal piano campagna. La ricerca ha lo scopo di definire la liquefacibilità dei sedimenti presenti nell'area di sedime delle strutture di progetto, seguendo la procedura indicata dalla D.A.L. n. 112/2007, eventualmente fino al III livello di approfondimento.

3.3 - Per ogni ambito di POC si richiede il seguente numero minimo di prove, tutte realizzate con attrezzature rispondenti ai requisiti di cui all'articolo 2 comma 2, eseguite in accordo tra i Soggetti Attuatori di eventuali più PUA interni al medesimo ambito di POC:

¹ La delibera RER richiede di raggiungere gli 800 m/s, le prove effettuate per la pianura bolognese dimostrano l'impossibilità di ricavare questo esito con profondità credibili (cioè inferiori ai 300 metri).



ambito	Tipo di prova	Profondità [m]	Numero
6.1	CPT (punta begeman)	12	5
	CPTU (piezocono)	15	2
6.2	CPT (punta begeman)	12	8
	CPTU (piezocono)	15	2
6.3	CPT (punta begeman)	12	6
	CPTU (piezocono)	15	1
9.1	CPT (punta begeman)	12	9
	CPTU (piezocono)	15	3



Comune:

COMUNE DI CASTELLO D'ARGILE (BO)

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
Per gli ambiti inseriti nel P.O.C.
**Aggiornamento per controdeduzione alle riserve
provinciali ed alle osservazioni dei privati**

Stesura:

Maggio 2010

Elaborazione:

Dott. Geol. Samuel Sangiorgi
Dott. Geol. Venusia Ferrari

Committente:

SVILUPPO COMUNE S.r.l





1. PREMESSA

La presente relazione è stata elaborata come integrazione per controdeduzione alle riserve provinciali ed alle osservazioni dei privati in merito al primo Piano Operativo del Comune di Castello d'Argile (POC).

L'integrazione geologica si è resa necessaria per:

- l'introduzione di un nuovo Ambito previsto nel Capoluogo e denominato "Ambito A";
- la modifica del perimetro di un ambito esistente nel primo P.O.C., situato nella frazione di Venazzano ("Ambito 9.1").

Le figure 1 e 2 localizzano gli ambiti, con le loro sigle identificative relative alla prevista destinazione d'uso. Si riportano anche i punti di controllo geognostici e geofisici utilizzati per la caratterizzazione geomeccanica e sismica.

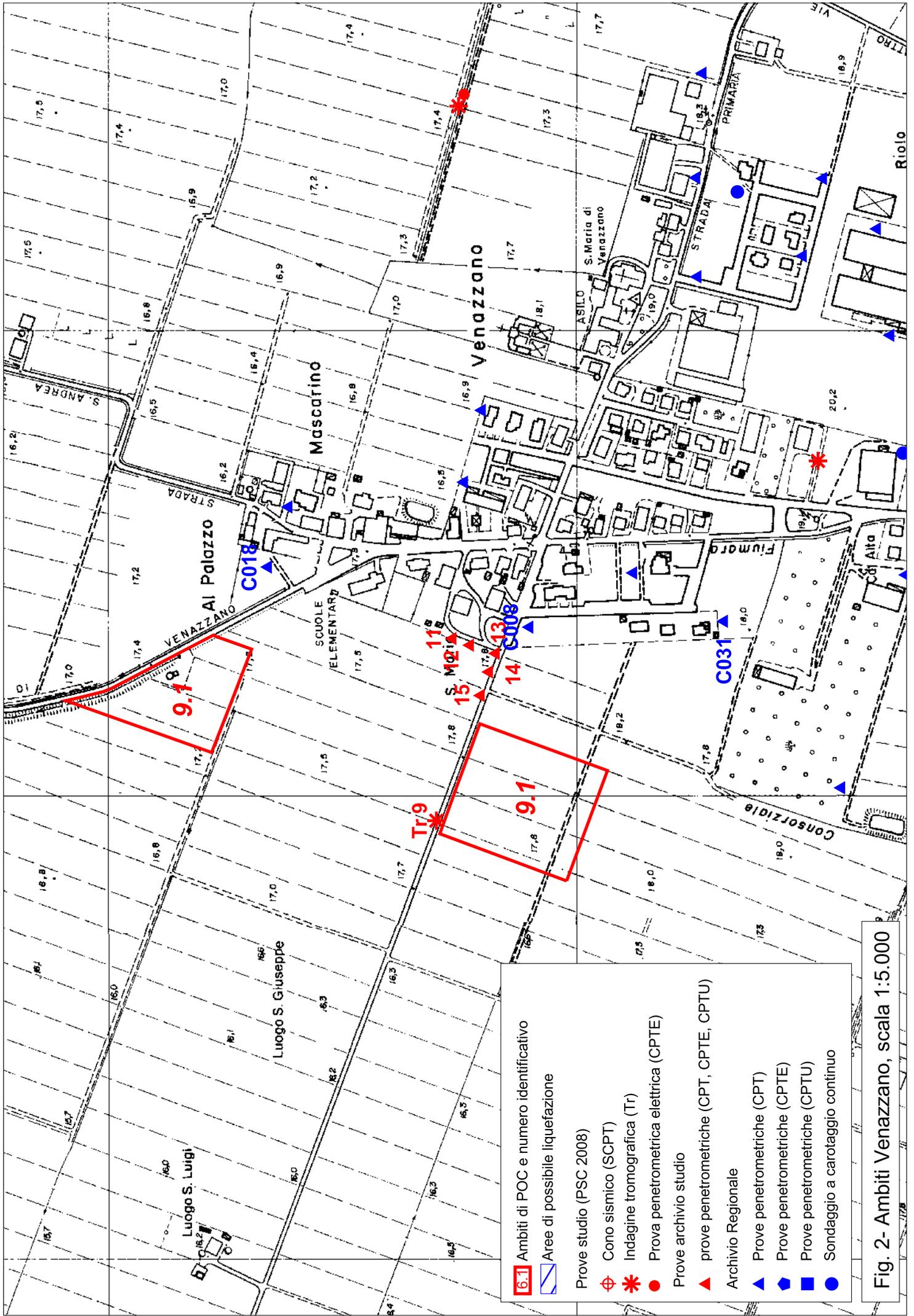


Fig. 2- Ambiti Venazzano, scala 1:5.000



Ambito Capoluogo A

Localizzazione: a nord-est del Capoluogo, lungo Via Croce, Località Ardizzoni. Quota di terreno circa 21 m s.l.m.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: esterno all'ambito prove penetrometriche meccaniche CPT C018, C020 (Archivio RER); indagine tromografica Tr 5, Tr 6 (Archivio Studio Scrivente); prove penetrometriche meccaniche CPT Id 22-23, Id 33-37 (Archivio Studio Scrivente).

Geologia: ad oggi è ignota nell'ambito di progetto la presenza di sabbie più o meno limose per spessori superiori al metro nei primi 15 metri di sottosuolo, possibili antichi alvei del Reno disposti a profondità maggiori. Gli esiti delle prove penetrometriche di controllo rilevano una successione di sedimenti prevalentemente limosa e limoso argillosi con intercalazioni di sabbie che risultano di spessore inferiore al metro.

Idrogeologia: il livello piezometrico di poco superiore ai 19 metri s.l.m.; la soggiacenza media viene stimata circa 2 metri. per le caratteristiche tessiturali dei sedimenti insaturi, la vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori: l'acquifero è infatti costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata in classe II (una sola analisi).

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento reversibili che possono portare a conclusioni errate in merito alle caratteristiche tessiturali e geomeccaniche dell'intervallo insaturo più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (travi rovesce e plinti incastrati fino a 1.60 metri dal p.c) sono misurati in sedimenti coesivi: stimando la coesione non drenata pari a $c_u = 40 - 45$ kPa deriva una stima preliminare della portanza ultima circa di 200-230 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3 ($a_g=0,158$ (Delibera RER 112/2007)).

Caratterizzazione sismica locale: Categoria di sottosuolo di fondazione "C".

Amplificazione stratigrafica, calcolata tramite modellazione numerica di risposta sismica, pseudo-bedrock sismico collocato a circa 120 m (vedi modello "Capoluogo" §3): F.A. PGA=2.15 valutata a $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz. Pericolosità sismica calcolata tramite Intensità di Housner (§4.4.2 P.S. Comune di Castello d'Argile) F.A. SI $0.1 < T < 0.5$ sec = 1.48; F.A. SI $0.5 < T < 1$ sec = 1.68.

Amplificazione locale (<<Pianura 2>> – Delibera RER 112/2007) F.A. PGA= 1.5; F.A. SI $0.1 < T < 0,5$ sec = 1.8; F.A. SI $0.5 < T < 1$ sec = 2.5.



Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 6 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno una penetrometria statica con punta strumentata CPTU, spinta oltre i 15 metri di profondità finalizzata a verificare la presenza di sedimenti saturi granulari liquefacibili di potenza superiore al metro; se rinvenuti, esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (Delibera RER 112/2007).

Ambito Venazzano 9.1

Localizzazione: ad ovest della Frazione di Venazzano, lungo Strada di Venazzano, quota di terreno attorno a 17 m slm.

Controlli geognostici e geofisici di riferimento: interno all'ambito (Studio Scrivente) TR 9; esterni all'ambito CPT (archivio regionale) C008, C018, C032.

Geologia: ad oggi ignota la presenza di sabbie più o meno limose per spessori superiori al metro nei primi 15 metri di sottosuolo, possibili antichi alvei del Reno disposti a profondità maggiori. La successione di sedimenti è in larga prevalenza limosa e limoso argillosa con intercalazioni di sabbie di spessore inferiore al metro.

Idrogeologia: il livello piezometrico da sud a nord è compreso tra 15,50 e 14,30 metri s.l.m., la soggiacenza è in genere superiore ai 3 metri. La vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori, l'acquifero è costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività, e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. La qualità delle acque sotterranee della prima falda (vedi PSC Associazione Reno-Galliera) è risultata incerta a causa della scarsità di campioni d'acqua locali.

Caratteristiche litotecniche: la zona insatura, composta da limi più o meno argillosi, a volte a scheletro sabbioso, presenta alti valori di OCR a causa di processi di essiccamento, che possono portare a conclusioni errate sulle caratteristiche geomeccaniche del substrato più superficiale. Valori geomeccanici di riferimento per fondazioni superficiali (travi rovesce legate e plinti incastrati fino a 1,60 metri dal p.c) sono misurati in sedimenti coesivi con la coesione non drenata $c_u = 60$ kPa, da cui deriva una stima preliminare della portanza ultima di circa 300 kPa.

Classificazione sismica: Zona 3, $a_g=0,158$ (D.A.L. 112/2007).



Caratterizzazione sismica locale: Categoria di suolo “C”; amplificazione stratigrafica di spessore 120 m; F.A. PGA=2,15; F.A. SI $0,1 < T < 0,5$ sec = 1,48; F.A SI $0,5 < T < 1$ sec = 1,68; $T_0 = 0,55$ secondi; $f_0 = 1,8$ Hz.

Condizioni e limiti di fattibilità geologica: indagini geognostiche finalizzate alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche commisurate per numero e profondità alle opere di progetto, in tutti i casi almeno 9 CPT spinte a 12 metri di profondità. Almeno tre penetrometrie statiche con punta strumentata CPTU, spinta oltre i 15 metri di profondità finalizzate a verificare la presenza di sedimenti granulari liquefacibili di potenza superiore al metro; se rinvenuti, esecuzione di sondaggio per prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, per studio di III livello di approfondimento (Delibera RER 112/2007).