

**Comune di  
CASTELLO D'ARGILE**



# **PSC**

## **ELABORATO IN FORMA ASSOCIATA**

### **PIANO STRUTTURALE COMUNALE**

#### ***RELAZIONE GEOLOGICA***

#### ***Microzonazione sismica***

**STUDIO VIEL & SANGIORGI**

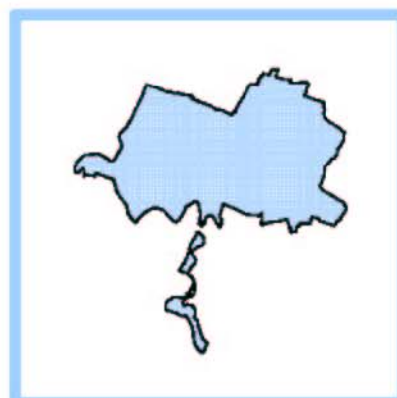
Elaborazione :Dott. Geol. Venusia Ferrari  
Dott. Geol. Samuel Sangiorgi  
Dott. Geol. Giovanni Viel

**Sindaco**  
Massimo Pinardi

**Segretario comunale**  
Dott. Vienna Marcella Rocchi

**Responsabile Ufficio di Piano**  
Arch. Piero Vignali

adozione                      delib. C.C n.      del  
approvazione                delib. C.C n.      del





## INDICE

1. INTRODUZIONE	pag	1
2. INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE		3
3. PALEOGEOGRAFIA E LIQUEFAZIONE		8
4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE		12
4.1 Il quadro normativo di riferimento		12
4.2 Obbiettivi dell'indagine sismica		16
4.3 Definizione Vs30 e categoria di sottosuolo di fondazione		16
4.4 Verifica mono dimensionale dell'amplificazione locale		17
4.4.1 Elaborazione del modello sismico		17
4.4.2 Elaborazione dell'amplificazione		23
4.5 Verifiche della suscettibilità alla liquefazione		24
5. MICROZONIZZAZIONE E PROPOSTA NORMATIVA		29
5.1 Morfologia		29
5.2 Liquefazione		29
5.3 Amplificazione		30
5.4 Proposta normativa		31

## ALLEGATI



## **1. INTRODUZIONE**

La componente geologica del quadro conoscitivo (QC) del Piano Strutturale elaborata per l'Associazione di comuni "Reno Galliera" contiene le analisi per una conoscenza dei parametri geologici del territorio di pianura indagato:

- assetto morfologico generale;
- caratterizzazione geomeccanica preliminare della coltre più superficiale (primi 10 metri) in un intorno significativo dei maggiori centri abitati, ricavato dall'inventario delle prove geognostiche e conoscenze di sottosuolo ricavate dagli Uffici Tecnici dei Comuni, e da quello regionale (Servizio Geologico, sismico e dei suoli), e dall'archivio dello Studio scrivente;
- campo di moto dell'insieme di falde più superficiali, riconoscimento e delimitazione dei bacini di drenaggio sotterranei;
- qualità delle acque del freatico, studiata per la prima volta nel bolognese con l'analisi idrochimica di circa 50 campioni d'acqua;
- discussione sullo stato delle conoscenze relative alle acque profonde, all'approvazione del PTA (Piano di Tutela delle Acque), ed alle conseguenze degli eccessivi emungimenti cui sono state sottoposte le falde profonde in questi decenni (subsidenza);
- individuazione della pericolosità di allagamento basata sulle ricorrenze negli ultimi 50 anni, delimitazioni derivate dall'inventario degli eventi alluvionali della Protezione Civile;
- zonizzazione dei suoli di fondazione secondo la nuova normativa sismica, e preliminare delimitazione dei possibili effetti di sito (liquefazione dei sedimenti saturi), presenza di cave o di altri effetti morfologici;
- quadro normativo relativo ai diversi settori trattati.

La scala d'esecuzione delle analisi citate è diversa per ogni tema trattato, in funzione del grado di accuratezza delle informazioni disponibili; ad esempio, le analisi territoriali sismiche scontano la rarefazione delle conoscenze di sottosuolo in generale, e l'assenza di quelle specifiche per la conoscenza delle onde di taglio (Vs).

Il quadro normativo del PS Associato rimanda infatti alla fase di elaborazione dei PSC ed in particolare dei POC/PUA. Infine, la Regione Emilia-Romagna ha recentemente emesso la delibera applicativa <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>> (Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007). La nuova normativa regionale chiede che, per l'approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale, vengano affrontati studi di pericolosità e di microzonazione sismica, per livelli di approfondimento differenziati a seconda delle fasi di pianificazione e del contesto di pericolosità locale riscontrato. Nel caso di Castello D'Argile, inserito nella "zona 3" di pericolosità sismica (ai sensi della nuova classificazione Opcm 3274/2003),



l'approvazione del PS è subordinata all'elaborazione di cartografie di microzonazione di <<secondo livello>>.

Per quanto detto, la presente relazione, costituisce l'integrazione ed il completamento del lavoro svolto per il PS Associato, relativa al Comune di Castello D'Argile, in merito alla caratterizzazione sismica (pericolosità e microzonazione).

## 2. INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE

Per le finalità dello studio citate in premessa, si sono rese indispensabili nuove indagini geognostiche e sismiche, oltre all'utilizzo delle informazioni ricavate da un vasto repertorio di prove pregresse.

a) Prove eseguite per questo lavoro:

- ❖ tre prove penetrometriche CPTU → con puntale “Gouda” di dimensioni standard e dotata di setto poroso per la valutazione delle sovrappressioni interstiziali. L'acquisizione dei dati avviene ogni 2 cm di avanzamento e le prove sono state spinte fino a 30 metri dal p.c. I dati di penetrazione ( $Q_c$ ,  $f_s$ ) sono stati elaborati per desumere i principali parametri tessiturali e meccanici dei sedimenti attraversati e la verifica alla liquefazione secondo Robertson 1996 ed Olsen 1996;
- ❖ una prova CPTS (cono sismico) → con puntale dotato di due geofoni interspaziati di un metro, per determinare i differenziali di propagazione, (pertanto le velocità) delle onde di compressione  $V_p$  e delle onde di taglio  $V_s$ . La misura delle  $V_s$  e  $V_p$ , ha consentito la stima dei moduli e dei parametri elastici dinamici (Moduli di Elasticità, Taglio, Compressibilità dinamici, Coefficiente di Poisson). La prova è stata spinta fino a 30 metri dal p.c.
- ❖ 1 Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) per il calcolo della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali ( $V_s$ ), utile per la classificazione del sottosuolo di fondazione prevista dalla normativa vigente. La masw è una metodologia non invasiva che utilizza le onde di Rayleigh, componente principale delle onde superficiali, e per questo poco soggetta ai rumori ambientali; l'analisi delle onde S viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma. La strumentazione utilizzata è composta dal sismografo a 24 canali << Abem-Ras-24 >>, con convertitore del segnale A/D a 24 bit. Lo stendimento è stato configurato con 24 geofoni da 4,5 Hz, posti alla distanza di 1m. La sorgente di rumore è stata fornita da tre colpi, su una piastra con una mazza battente da 10 Kg, alle seguenti distanze dal primo geofono dell'allineamento: 5m – 12m - 17m. L'acquisizione dei dati è avvenuta con doppia registrazione con tempi di 4 secondi ed un intervallo di campionamento rispettivamente di 1ms e 2ms;
- ❖ 11 indagini con tromografo digitale → misure puntuali speditive ad alta risoluzione, del microtremore sismico, finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con una doppia frequenza rispettivamente di 128 Hz e 256 Hz e con un tempo di registrazione di 14 minuti;

b) Prove di repertorio:

- ❖ sondaggi a carotaggio → recuperati dalla Banca Dati geognostica della Regione Emilia-Romagna, e dall'archivio dello Studio scrivente;
- ❖ prove penetrometriche CPT, CPTE, CPTU → ancora desunte dalla B/D geognostica della R.E.R, ed in particolare una prova CPTU a 30 metri effettuata nei pressi della scuola nel centro del Capoluogo (variante 2007);

Le figure 1 e 2 a-b-c localizzano i punti di controllo considerati per questo lavoro, mentre in appendice al testo si allegano grafici, tabelle e certificati dei risultati delle prove effettuate.

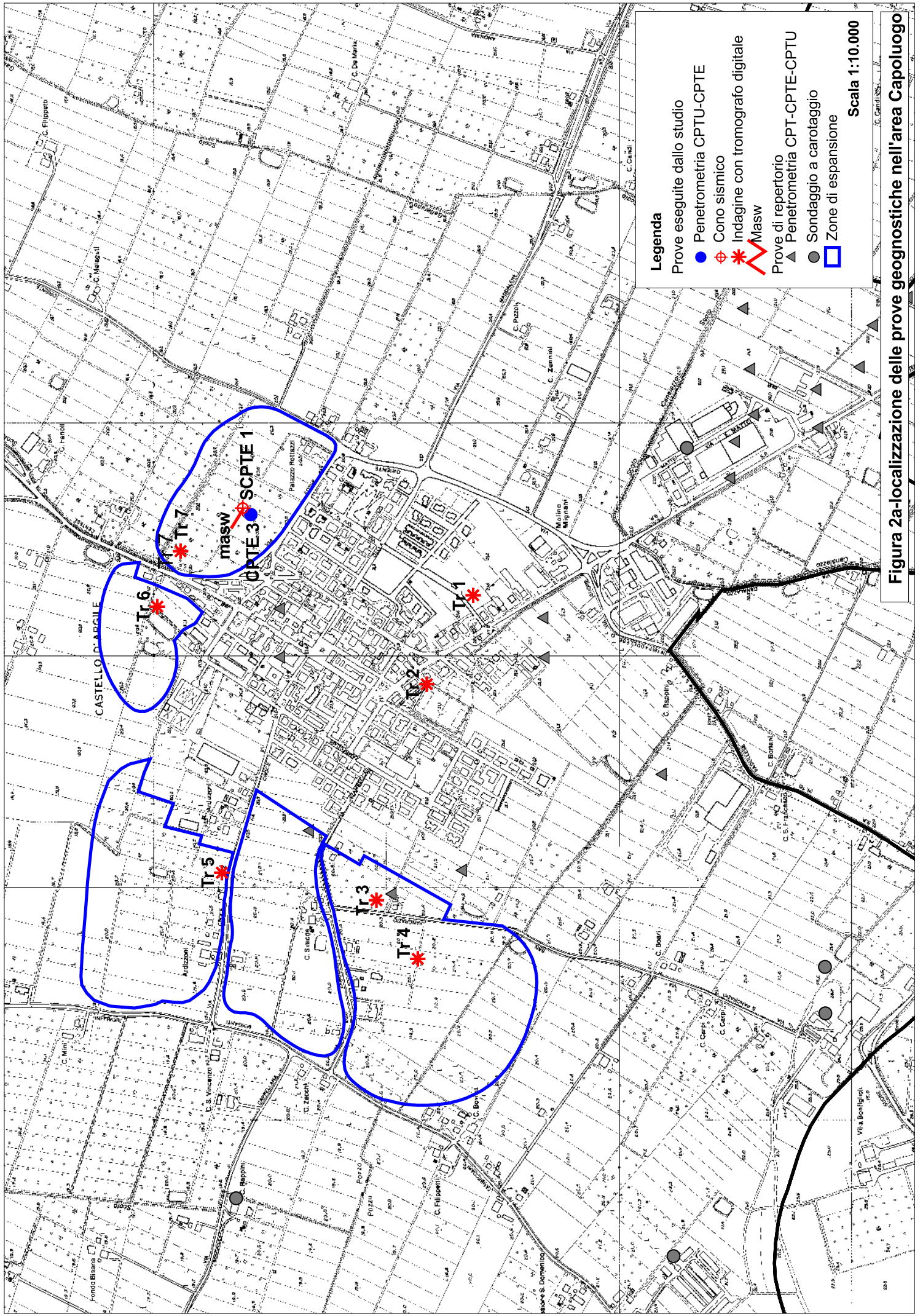


**Legenda**

- Prove eseguite dallo studio
- Penetrometria CPTU-CPTE ●
- Cono sismico \*
- Indagine con tomografo digitale Masw \*
- Prove di repertorio
- Penetrometri CPT-CPTE-CPTU ▲
- Sondaggio a carotaggio ●

Scala 1:25.000

**Figura 1-localizzazione dei punti di controllo geotecnico**



**Legenda**

Prove eseguite dallo studio

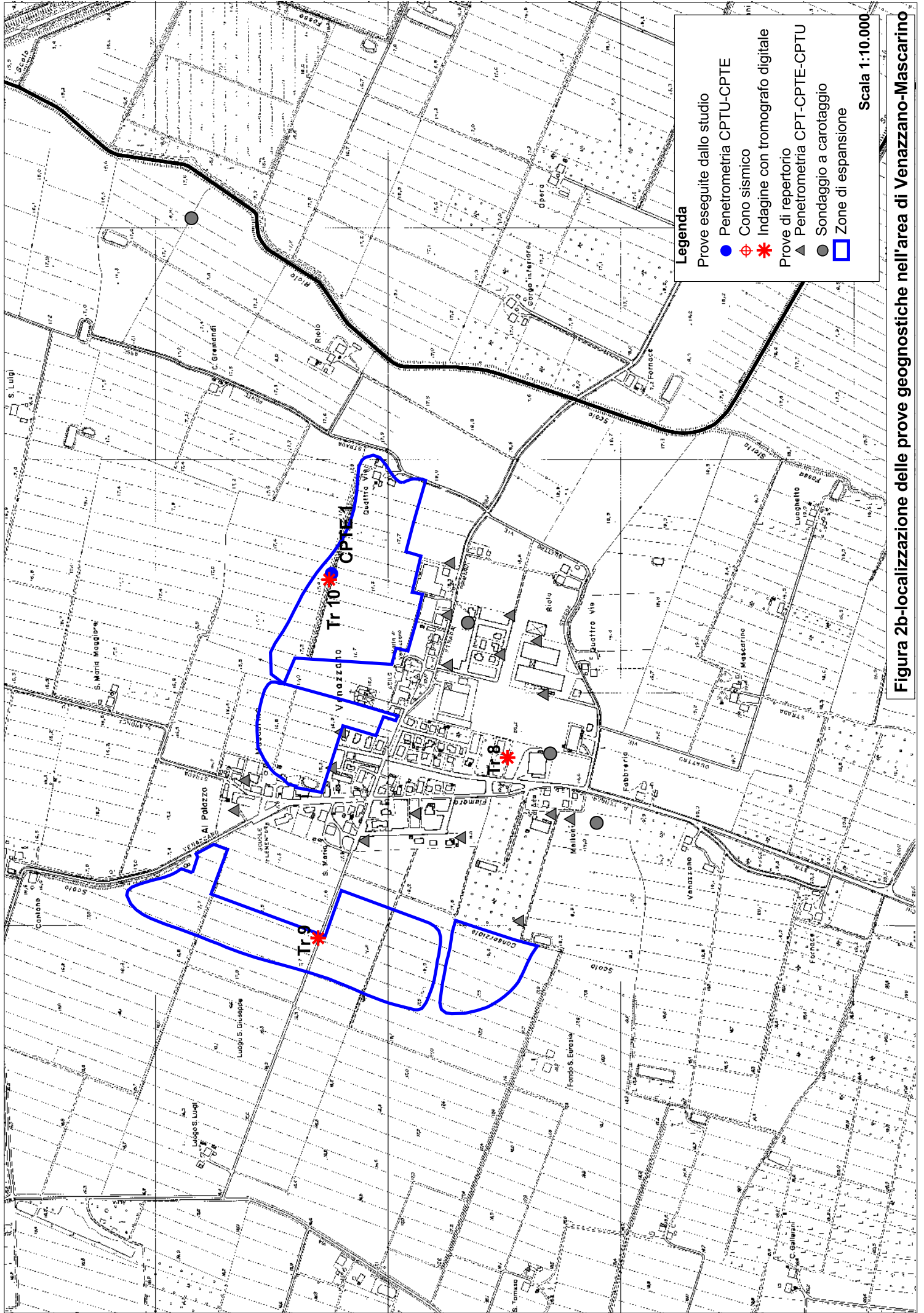
- Penetrometria CPTU-CPTe
- ⊕ Cono sismico
- \* Indagine con tomografo digitale
- ⚡ Masw

Prove di repertorio

- ▲ Penetrometria CPT-CPTe-CPTU
- Sondaggio a carotaggio
- Zone di espansione

Scala 1:10.000

**Figura 2a-localizzazione delle prove geognostiche nell'area Capoluogo**



**Legenda**

Prove eseguite dallo studio

- Penetrometria CPTU-CPTe
  - ⊕ Cono sismico
  - \* Indagine con tomografo digitale
- Prove di repertorio
- ▲ Penetrometria CPT-CPTe-CPTU
  - Sondaggio a carotaggio
  - Zone di espansione

Scala 1:10.000

**Figura 2b-localizzazione delle prove geognostiche nell'area di Venanzano-Mascarino**



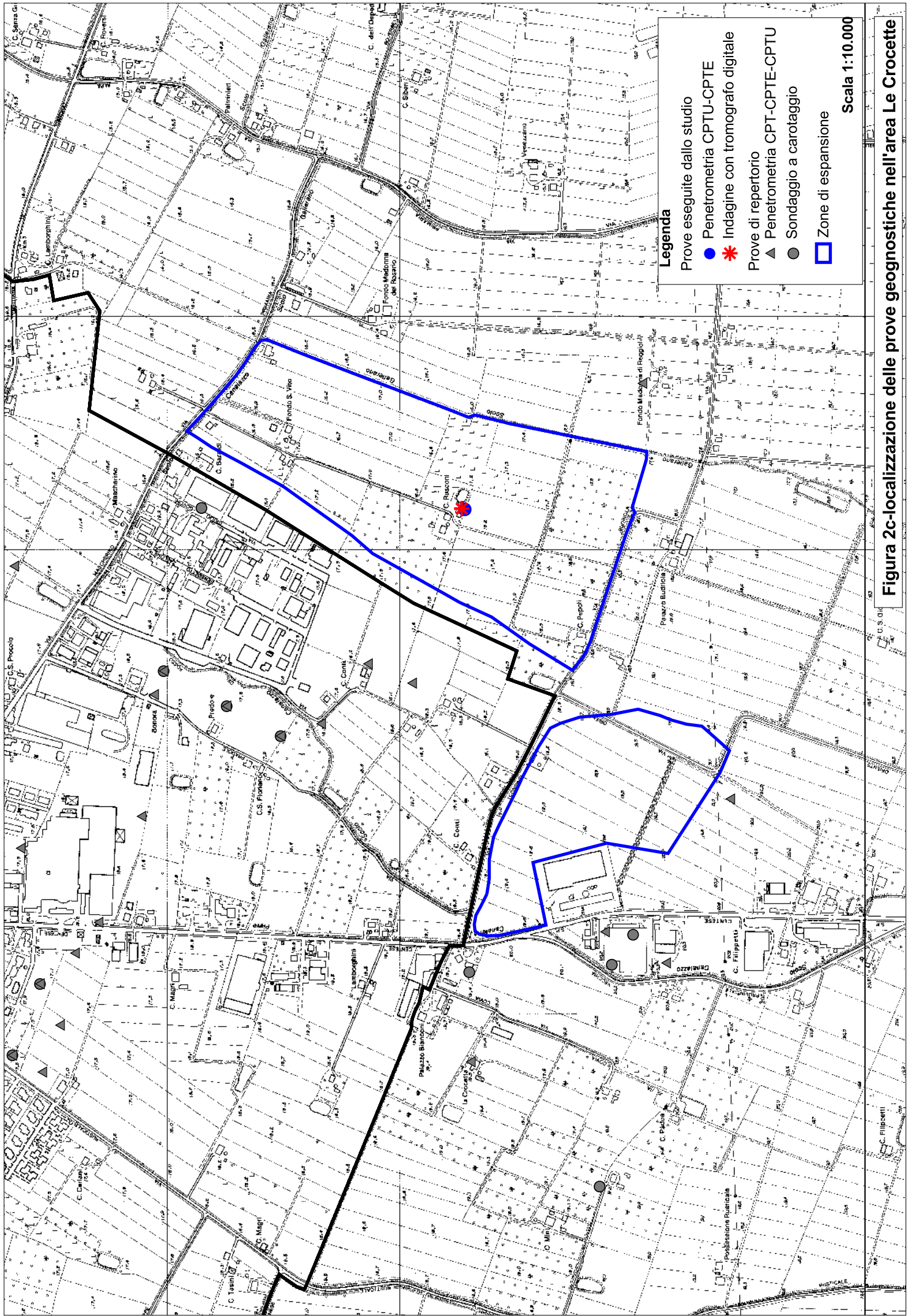


Figura 2c-localizzazione delle prove geognostiche nell'area Le Crocette

### 3. PALEOGEOGRAFIA E LIQUEFAZIONE

La ricostruzione paleogeografica di sottosuolo, in verità molto approssimativa per la rarefazione dei punti di controllo, realizzata in scala 1:25.000 per il PSC dell'Associazione Reno Galliera, da cui è stata tratta la tavola 3 (integrazione, dicembre 2006), ipotizza la presenza di ampie zone di "liquefazione potenziale" tra queste l'intero Capoluogo e la parte meridionale di Venazzano. Le verifiche effettuate per l'elaborazione più dettagliata del PSC hanno permesso di proporre nuove delimitazioni delle aree con liquefazione potenziale, come riportato nella figura 3, ed in tavola 1.

Le verifiche effettuate e le proposte di nuove delimitazioni presentate dalla figura 3 e dalla tavola 1 costituiscono variazione della tavola 3 intitolata <Carta Macro-zone sismiche> dell'integrazione al PSC associato Reno-Galliera.

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti rappresenta un parametro importante da valutare nella cartografia di pericolosità sismica in particolare nella pianura alluvionale, anche a piccola scala. Per questo motivo dovrà essere verificata con attenzione anche in occasione delle analisi geologiche nei POC/PUA.

Molti Autori hanno evidenziato una correlazione positiva tra età e tipo di deposito alluvionale continentale, riguardo la propensione alla liquefazione:

- 1) Youd e Perkins, 1978 – hanno composto una tabella che sintetizza i dati raccolti durante terremoti "strong motion" dell'area di S. Diego (California), da cui risulta che i sedimenti depositi da corsi d'acqua (piana alluvionale di esondazione, canale fluviale, delta fluviali, estuari) dimostrano una probabilità di liquefazione da alta a molto alta se di età minore di 500 anni o Olocenica, gli stessi depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno invece una "bassa" probabilità di liquefarsi. Cioè l'osservazione dimostra che sono solamente i sedimenti di deposizione recente (olocene) e recentissima (meno di 500 anni) a presentare un'alta pericolosità per la liquefazione.
- 2) Mori et Al, 1978 – dimostrano che la suscettibilità alla liquefazione decresce nei sedimenti di età maggiore di 500 anni, con scarti anche molto alti (maggiori del 50%). Tolno, 1975 dimostra l'incremento di densità secca (stato di addensamento) del sedimento in relazione all'aumento di vetustà (dall'Olocene al terziario)
- 3) Iwasaki et Al, 1982 – dimostra per terremoti giapponesi la correlazione diretta tra probabilità di liquefazione e letti di fiumi recenti e antichi;

- 4) CNR, 1983 – ripropone la correlazione diretta tra sedimenti fluviali e deltizi continentali ed età del deposito (i più recenti sono più suscettibili alla liquefazione)

In conclusione la letteratura geologica, ormai ben consolidata e verificata, indica che le maggiori probabilità di liquefazione si hanno nei sedimenti granulari saturi recenti e recentissimi. Ciò significa che gli alvei abbandonati e sepolti del Reno di età rinascimentale (500 anni), alto medioevale ((1000 anni) o romana (2000 anni), possono costituire fonte di pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo modesta come quelli previsti per il bolognese ( $M = 5,5$ ).

La possibilità che esistano alvei del Reno sepolti è dimostrata dalle ricerche condotte per la ricostruzione del sottosuolo nei comuni della Direttrice Nord (Viel, 1998). Nel lavoro citato sono stati ricostruiti i tracciati degli alvei del Reno fino alla profondità di 12 metri circa dal p.c; più recentemente (2008), nelle relazioni geologiche al PSC di Castel Maggiore e di Argelato sono riportati gli ambiti territoriali di sviluppo dei corsi di Reno abbandonati negli ultimi 10.000 anni (teoricamente equivalenti a 20 metri di profondità). Queste sabbie sono state campionate nei primi 10 metri, le specifiche analisi hanno dimostrato come siano liquefacibili per impulsi ciclici di terremoti anche della modesta intensità (magnitudine  $M = 5,5$ ) che caratterizza la pianura bolognese (vedi PSC di Argelato e di Castelmaggiore).

I corpi granulari ipotizzati dovrebbero corrispondere ad alvei di bankfull, i cui limiti laterali sono costituiti da rilievi sabbiosi (argini naturali), la potenza media complessiva di ogni episodio (tra una divagazione e l'altra) dovrebbe essere non superiore ai 3 metri circa. Le barre sabbiose non hanno spessore superiore ai 2 metri, i depositi di piena biennale possono avere spessori decimetrici fino a metrici e contenere sporadici ciottoli.

La ricostruzione delle geometrie dei paleoalvei viene realizzata sulla scorta delle conoscenze di sottosuolo già acquisite, in particolare derivate dagli archivi di prove geognostiche (Banca dati della Regione Emilia-Romagna, archivi dei comuni, inventario dello stesso studio scrivente). La figura 3 propone un'ipotesi di ricostruzione paleogeografica, ricavata anche dalla continuità di dati con il comune di Argelato e Castelmaggiore. La denominazione utilizzata nella figura (Reno 1) per individuare i corpi sabbiosi a cui si è riconosciuta continuità geografica è coerente con quella già utilizzata per i PSC di Castelmaggiore ed Argelato:

“Reno 1” = paleoalvei per lo più sabbiosi variamente sovrapposti ed affiancati, non facilmente distinguibili, presenti nei primi 10 metri di sottosuolo. A differenza di Argelato non sono segnalati livelli con ghiaie e

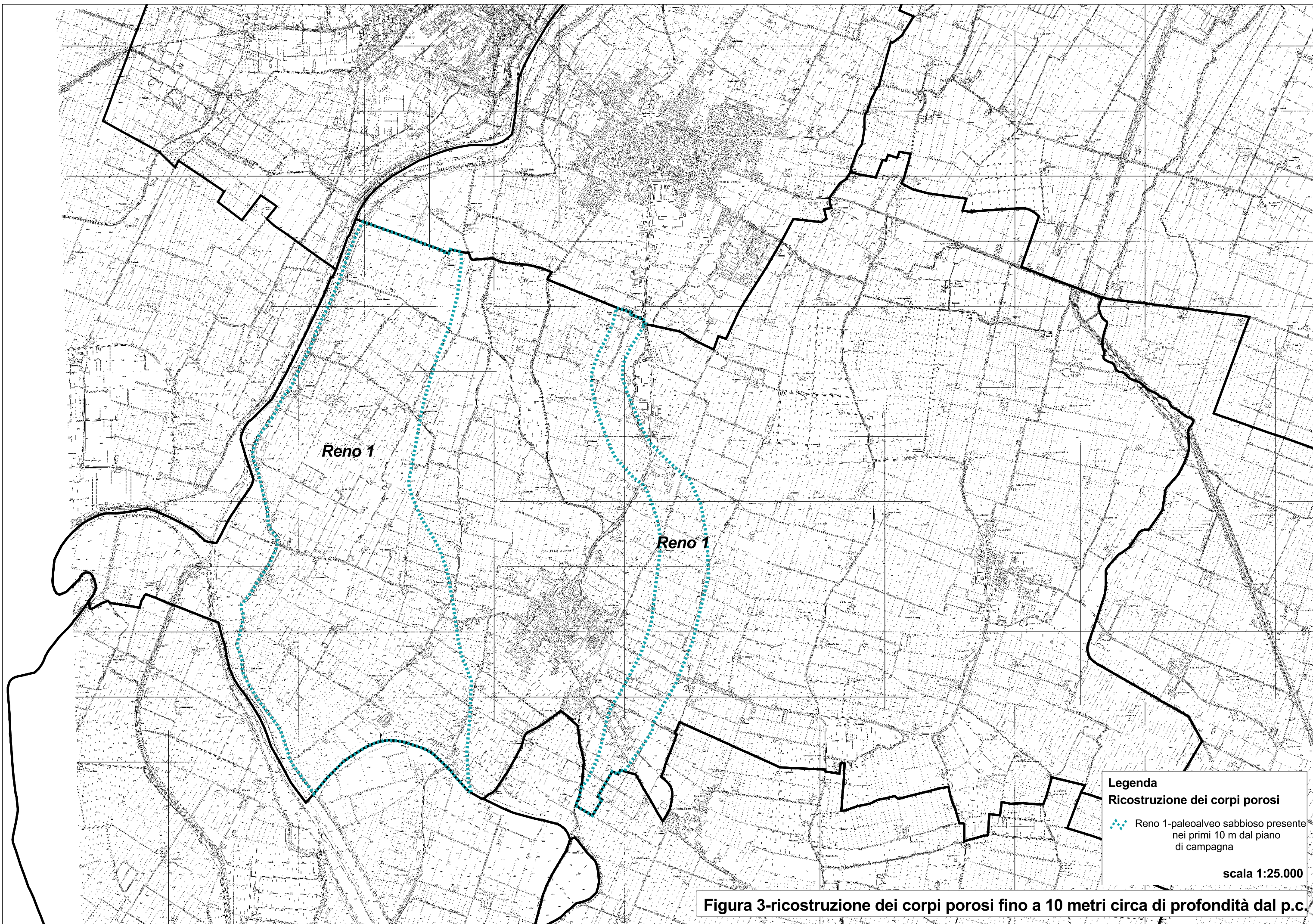
ciottoli. Il grado di addensamento di queste sabbie è sempre da modesto a molto scarso.

Le prove eseguite e le stratigrafie note dimostrano anche la presenza di sabbie con potenze a volte superiori ai 4 metri a quote attorno ai 20 metri dal p.c, ma la rarefazione dei punti di controllo è tale da non consentire ricostruzioni di qualche attendibilità, e comunque l'età del sedimento e la sua profondità permettono di collocarli fuori del campo di pericolosità per liquefazione.

Le indagini geologiche svolte per il presente lavoro si sono concentrate attorno alle aree indicate nel PSC, che costituiranno i futuri POC/PUA, e come si desume in figura 3. è possibile esistano porzioni di territorio, soprattutto ad ovest del capoluogo, in cui si possono incontrare sedimenti granulari saturi, nell'intervallo di profondità pericoloso. Certamente la distanza dalla sorgente dei clasti (Apennino) è inversamente proporzionale alla propensione alla liquefazione, per aumento delle componenti fini, tuttavia Castello D'Argile è vicino al corso attuale del Reno, cioè è vicino al "distributore" dei sedimenti granulari; esiste dunque la probabilità siano distribuite sabbie recenti liquefacibili.

Il territorio comunale esterno ai probabili percorsi di antichi alvei del Reno indicati nella figura 3 e nella tavola 1 appare, ad oggi, privo di sabbie sature in cui possano verificarsi processi reologici, in tutte le aree indagate direttamente infatti non si sono riscontrate le condizioni generali di una possibile liquefazione locale.


L'interpretazione delle prove tomografiche del Capoluogo e della frazione Venezzano (Tr1, Tr2, Tr3, T 4, Tr5, Tr6, Tr7, Tr8, Tr9, Tr10) conferma la stratigrafia utilizzata per il modello sismico "Capoluogo". L'intervallo compreso tra 30 e 5 Hz (1,5-10 m) mostra un'amplificazione (valore indicato sull'asse delle y) inferiore ad 1, questo è indice della presenza di materiale fine con scarse qualità meccaniche, compatibile con le argille indicate nella colonna litologica tipo. Inoltre in tutte le prove tomografiche ad una frequenza di 0,8 Hz è presente un importante picco con amplificazione maggiore di 2, che confermerebbe la presenza del bedrock sismico ad una profondità di 110-125 m, come indicato nel modello "Capoluogo".



**Reno 1**

**Reno 1**

**Legenda**  
**Ricostruzione dei corpi porosi**

 Reno 1-paleoalveo sabbioso presente nei primi 10 m dal piano di campagna

scala 1:25.000

**Figura 3-ricostruzione dei corpi porosi fino a 10 metri circa di profondità dal p.c.**

## 4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

### 4.1 Il quadro normativo di riferimento

Il panorama legislativo in materia sismica, è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza PCM. n.3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza PCM. n.3519/2006), leggi che risultano tuttora discusse e ancora non definitive. Alla normativa vista sopra, si aggiunge il lavoro dell'Associazione Geotecnica Italiana, <<aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: linee guida). L'A.G.I., ha finora elaborato una edizione provvisoria del testo, pubblicata nel 2005.

L'Ordinanza PCM. n.3274/2003 (Allegato 1), ha disposto nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo stabilendo in questo senso:

- una nuova classificazione dei Comuni nazionali, secondo quattro diversi gradi di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;
- una nuova classificazione del sottosuolo, in “categorie di suolo di fondazione”, basata sulla stima di alcuni parametri fondamentali ( $V_s$ ,  $N_{spt}$ ,  $c_u$ , profondità del bedrock). Ad ogni categoria, sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto.

L'OPCM 3274/2003, non è mai entrata in vigore, ma le classificazioni sono state riprese nel successivo D.M. 159/2005 “Norme Tecniche per le costruzioni”. La tabella sottostante, riassume la classificazione del sottosuolo riportata nel Decreto, secondo le citate “categorie”:

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		$V_{s30}$ (m/s)	$N_{spt}$	$C_u$ (kPa)
A	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i>	> 800		
B	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	< 800 > 360	> 50	> 250
C	<i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</i>	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i>	< 180	< 15	< 70
E	<i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di <math>V_{s30}</math> simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con <math>V_{s30} &gt; 800</math>m/s</i>			
S1	<i>Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (<math>PI &gt; 40</math>) e contenuto di acqua</i>	< 100		< 20 > 10
S2	<i>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti</i>			

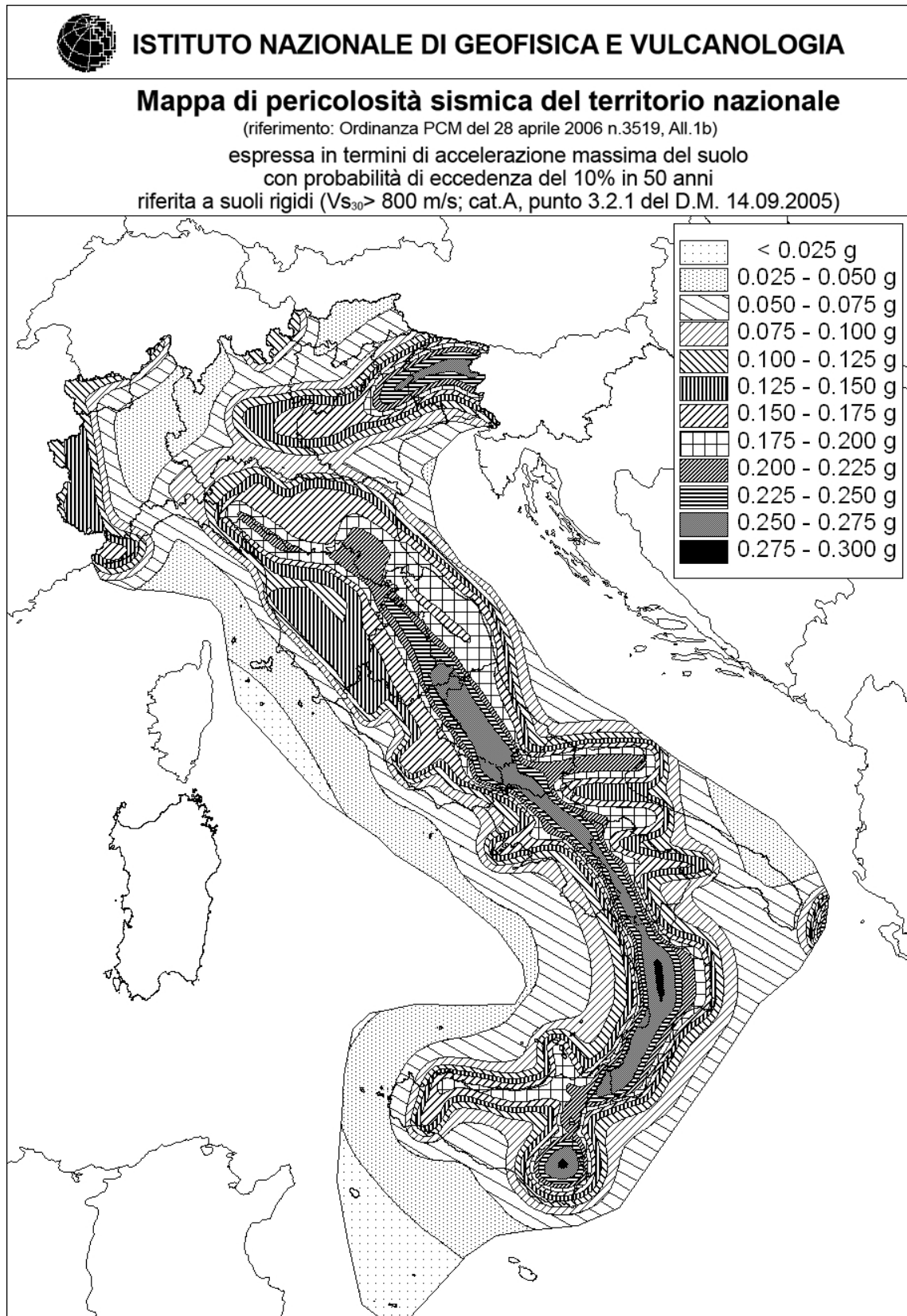


Figura 4.1 – Mapa della pericolosità sismica del territorio nazionale, pubblicata nell'Ordinanza PCM. n.3519/2006

La classificazione vista sopra, è stata successivamente integrata dall'Ordinanza PCM. n.3519/2006, con la pubblicazione della mappa della pericolosità sismica di riferimento per tutto il territorio nazionale (figura 4.1) e della seguente tabella che attribuisce i valori di  $a_g$  orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta.

ZONA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITA' DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI [ $a_g$ ]	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA CONVENZIONALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO [ $a_g$ ]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g
4	$\leq 0,05 g$	0,05 g

L'attribuzione della "categoria di suolo" (e dei relativi parametri meccanici fondamentali), consente una costruzione preliminare degli spettri di risposta del sottosuolo, possibile anche a scala territoriale, utilizzando come "input" l'accelerazione sismica definita dalla normativa (caratteristica della "zona" in cui ricade il Comune). Questa stima della risposta è soltanto un primo "tassello" per giungere alla reale conoscenza sismica: la valutazione di legge, infatti, non considera le eventuali caratteristiche locali che possono modificare il moto sismico atteso in superficie.

Mentre si completa questa relazione, risulta però che è già stata redatta la nuova versione del Testo Unico, che doveva essere convertita in legge entro il 29/02/08 (circolare OGER 275 dell'11/01/08).

In questo contesto nazionale ancora incerto, la Regione Emilia-Romagna, ha elaborato ed approvato (con Delibera Regionale n. 112 del febbraio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la L.R. n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio">>.

Gli Indirizzi, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale. In questo senso, la delibera fornisce tabelle e formule propedeutiche alla valutazione preliminare dell'amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale.

Il documento, fornisce anche i dati fondamentali per le valutazioni più accurate della risposta sismica: lo spettro di risposta normalizzato (per  $T_r = 475$  anni e smorzamento del 5%) per l'Emilia-Romagna, i valori di  $a_{refg}$  di ogni Comune, ed i



segnali di riferimento (accelerogrammi), anch'essi già scalati per ogni singolo Comune.

Per quanto riguarda i criteri da seguire per gli studi di pericolosità e di microzonazione sismica, la direttiva regionale, definisce due fasi di analisi, da completarsi con tre diversi livelli di approfondimento:

- 1) la prima fase di studio, che corrisponde al primo livello conoscitivo, deve definire gli scenari di pericolosità sismica, cioè deve consentire l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali in caso di sisma (amplificazione dell'impulso sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di addensamento/liquesfazione, cedimenti dei terreni, ecc.). Questa prima fase, deve essere elaborata ad una scala territoriale provinciale o comunale. Le sedi adeguate per affrontare queste analisi preliminari sono il quadro conoscitivo del PTCP o quello del PSC (anche in forma associata). Questo primo livello di approfondimento, richiesto per tutti i comuni della nostra Regione, è stato già approntato dallo Studio scrivente prima della pubblicazione della Delibera;
- 2) la seconda fase di studio deve giungere alla valutazione della risposta sismica locale ed alla microzonazione del territorio. È richiesta per l'approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale e lo studio è limitato alle aree già insediate o di previsione urbanistica, solamente se ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali (individuate nella prima fase). Sulla scorta degli esiti di pericolosità sismica individuati con il primo livello, si dovrà proseguire con l'ulteriore approfondimento:
  - 2.a nelle <<aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale o sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$  in cui il deposito di spessore costante>> la delibera indica sufficiente concludere lo studio di pericolosità sismica con un'“analisi semplificata”, cioè con un secondo livello conoscitivo finalizzato alla elaborazione della cartografia di microzonazione sismica ed alla definizione dei “coefficienti di amplificazione” (ricavati sulla base delle tabelle a formule riportate in appendice nella stessa delibera).
  - 2.b il terzo livello conoscitivo, invece, deve essere affrontato nei casi di <<aree soggette a liquefazione e densificazione, aree instabili e potenzialmente instabili, aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti, aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico>>. In questi casi, l'analisi più approfondita deve consentire la valutazione degli spettri di risposta (per Tr di 475 anni con smorzamento del 5%) riferiti alle aree da indagare, e si

dovranno elaborare le <<mappe di amplificazione>> in termini di rapporti PGA/PGA<sub>0</sub> e SI/SI<sub>0</sub>.

#### **4.2 Obiettivi dell'indagine sismica**

Scopo di questo studio è quello di produrre la microzonizzazione sismica delle aree insediate e di futuro POC del territorio comunale di Castello D'Argile.

Ad integrazione delle analisi conoscitive per il PSC in forma associata Reno-Galliera, nel dicembre 2006 lo Studio scrivente ha prodotto la cartografia preliminare di zonizzazione della pericolosità sismica <<tav.3a e 3b- Carta delle Macro-zone sismiche>>. Il lavoro e la cartografia, costituiscono un inquadramento territoriale delle caratteristiche sismiche equiparabile al primo livello richiesto dalla recente Delibera Regionale del 2007.

Lo studio, infatti, ha prodotto una zonizzazione del territorio dell'Associazione Comunale secondo la classificazione in <<categorie di suolo di fondazione>> (DM 159/2005), ed una zonizzazione della pericolosità che tiene conto dei possibili effetti di sito (aree con potenziale propensione alla liquefazione/densificazione, aree di ex cava).

Sulla scorta della preliminare stima della pericolosità sismica ricavata con la prima fase di studio, e tenuto conto che il Comune di Castello D'Argile ricade in "Zona 3" della nuova classificazione sismica (Opcm 3274/2003), la Delibera regionale dispone che l'approvazione del Piano Strutturale Comunale, sia subordinata alla formazione di cartografie di secondo livello semplificato.

Nell'analisi di primo livello, era emerso che i fusi granulometrici delle sabbie recuperate da sondaggi di letteratura, eseguiti per vari scopi getecnici, ed effettuati nel Comune di Bologna, Castelmaggiore e Argelato, ricadevano costantemente entro l'area della <<elevata possibilità di liquefazione>> (AGI, 2005 e figura 5 delle "Note integrative al Quadro Conoscitivo – Relazione Geologica"). Così la microzonizzazione sismica dei Comuni di Castelmaggiore e di Argelato ha tenuto conto della presenza di questi sedimenti granulari e della loro pericolosità proponendo una delimitazione dei paleoalvei del Reno il più accurata possibile (vedi figura 3).

La microzonizzazione è stata organizzata attorno alla variazione locale di due insiemi di parametri fondamentali: definizione delle Vs e del bedrock sismico, accertamento della liquefacibilità delle sabbie sature entro i primi 15 metri dal p.c.

#### **4.3 Definizione delle $V_{s30}$ e della "categoria di sottosuolo di fondazione"**

Per derivare le variazioni di  $V_{s30}$  nel territorio comunale e quindi la categoria di sottosuolo nelle diverse zone, sono stati programmati i punti di controllo ed i diversi strumenti di indagine indicati nel § 2. La qualità delle informazioni di

sottosuolo acquisite, e la convergenza negli esiti, fornisce il grado di attendibilità della conclusione raggiunta per questo lavoro.

Le velocità delle onde di taglio riscontrate nei primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s30}$ ) sono interne alla categoria “C”, ma prossime al limite con la categoria “D”, sia quelle più attendibili, misurate direttamente con il “cono sismico” ( $V_s=211$  m/s), sia quelle derivate dai parametri geomeccanici misurati dalle CPTU (CPTU1  $V_s=186$  m/s; CPTU2  $V_s=194$  m/s; CPTU3  $V_s=185$  m/s), sia quelle ottenute con le MASW (220 m/s).

L’estrappolabilità di questi dati è stata controllata con 11 prove tomografiche che confermano la correlabilità delle  $V_s$  ai territori circostanti le penetrometrie effettuate. Tutti gli esiti delle prove effettuate, compresi i diagrammi ottenuti dal tomografo digitale, sono riportati in appendice al testo in forma grafica, ed in forma numerica nel CD allegato.

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.

Questa conclusione varia una parte della tavola 3 di integrazione al PSC Associato Reno Galliera <Carta Macro-Zone Sismiche> in cui una parte del territorio comunale attorno alla frazione di Venazzano era classificata in categoria “D”. La tavola 1, allegata fuori testo, varia quindi la tavola di macro zonizzazione sismica allegata al PSC associato Reno-Galliera anche per la delimitazione delle categorie di sottosuolo di fondazione.

#### **4.4 Verifica monodimensionale dell’amplificazione locale**

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l’elaborazione di un’unica modellazione numerica generale di risposta sismica. Lo Studio scrivente dispone del software *SHAKE 2000*, software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali, in grado di raggiungere, tramite una sequenza di analisi lineari complete, valori di rigidità  $G$  e di smorzamento  $D$  compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

La verifica monodimensionale dell’amplificazione locale, tramite l’utilizzo di Shake si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

##### *4.4.1 Elaborazione del modello sismico*

La prima fase consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (*layer*) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio  $S$  ( $V_s$ ). La stratigrafia che caratterizza il modello per i primi 30 m deriva

dagli esiti delle prove geognostiche eseguite per questo lavoro e di repertorio; la stratigrafia più profonda (da circa -30 m fino al bedrock sismico) è estrapolata dalla Banca Dati Geognostica della R.E.R.

Il modello numerico di risposta sismica locale, riferibile sia al Capoluogo Castello D'Argile sia alla frazione Veneziano è stato elaborato impostando 6 differenti litotipi, variamente ripetuti:

- 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 l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , relativa ai differenti layer della colonna sismica, si sono considerati gli esiti della prova MASW, del cono sismico e delle tomografie effettuate nell'area. La bontà di acquisizione del segnale sismico ottenuto dalla prova MASW, elaborati sulla scorta della curva di dispersione sperimentale, consentono una stima accettabile della  $V_s$  fino ad una profondità di circa 35 metri (figura 4.2). Il bedrock sismico è stato impostato alla profondità di -120 m dal p.c. (figura 4.4a), in corrispondenza dell'intervallo argilloso con intercalazioni sabbiose (potente circa 20 metri). Questo spessore possiede le caratteristiche (geometrie, età deposizionale, profondità, rigidità ecc.) per essere assunto come il bedrock nell'elaborazione del modello sismico.

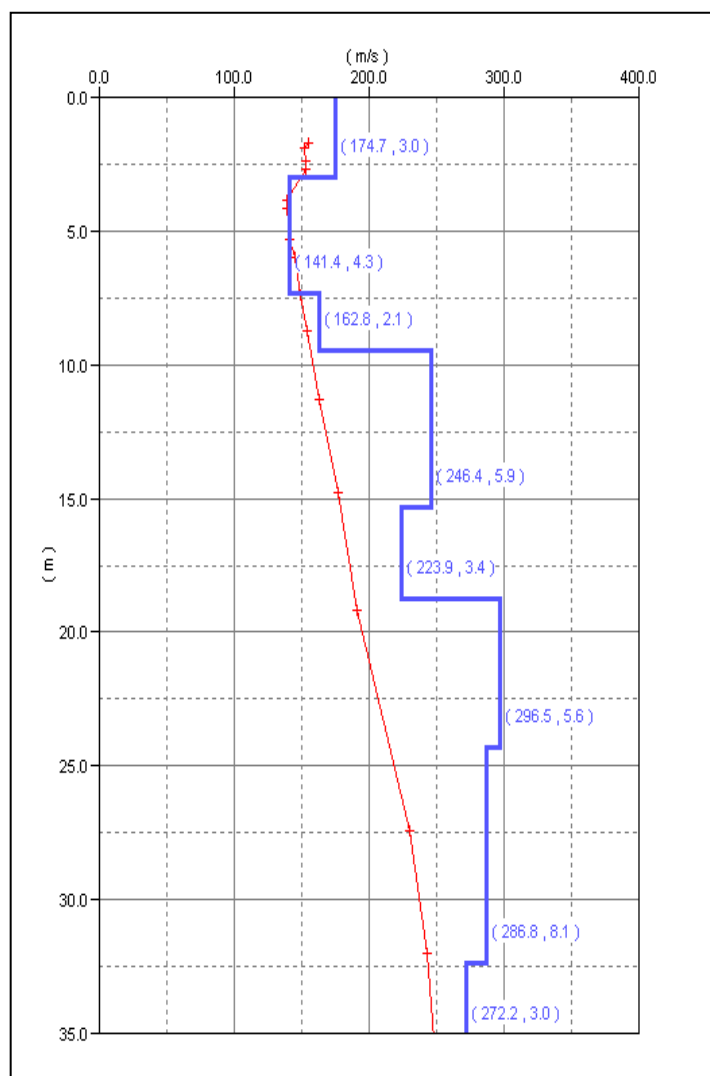


Fig. 4.2 – Distribuzione delle  $V_s$  ricavate dalla prova MASW.

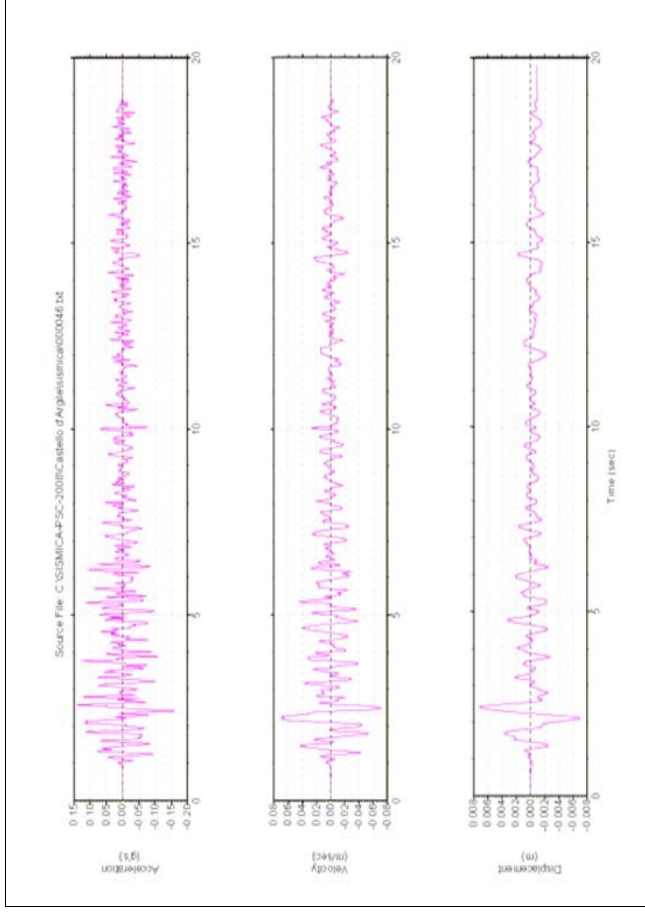


Occorre poi l'inserimento dei dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale. Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio. Questi tre segnali, già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto (riprodotti in figura 4.3):

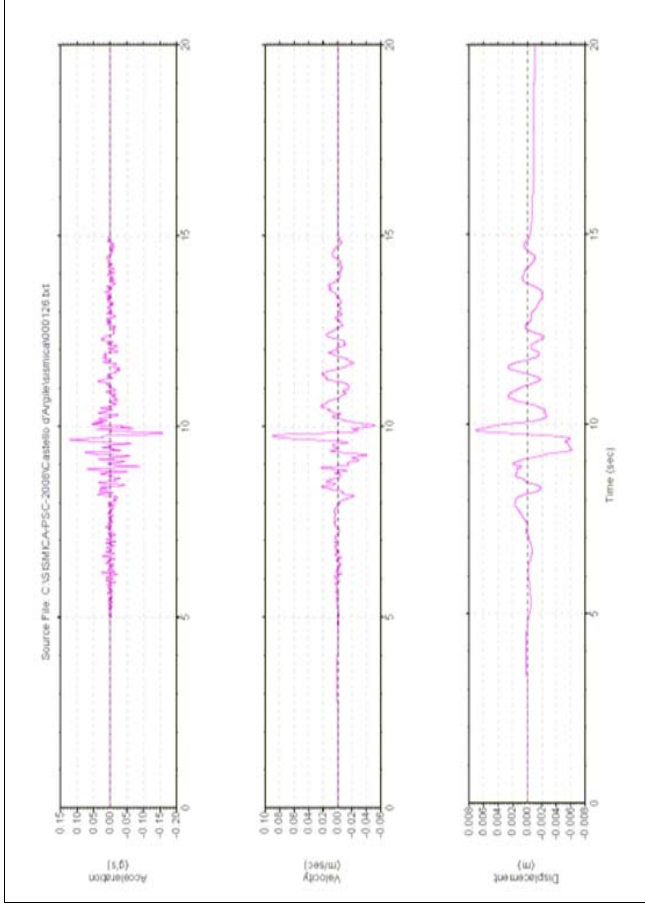
- 1) impulsivo;
- 2) con ampio contenuto in frequenze;
- 3) con componente predominante alle alte frequenze.

Per il Comune di Castello D'Argile, i dati fondamentali del sisma forniti dalla Delibera regionale sono: magnitudine 5,5,  $a_g$  al substrato = 0,158<sub>g</sub>.

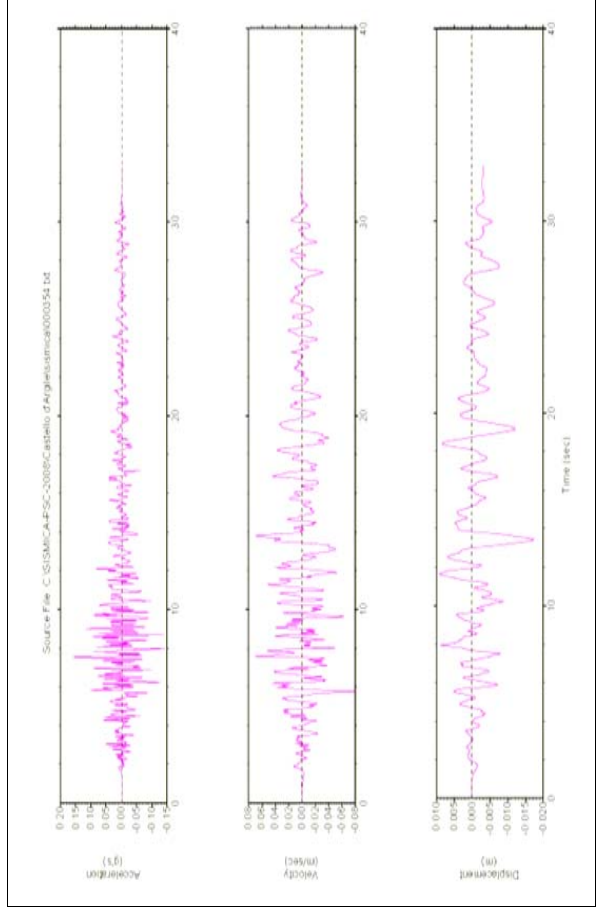
**COMUNE DI CASTELLO D'ARGILE**



**Schema relativo all'accelerazione, velocità, spostamento relativo all'input 000046**



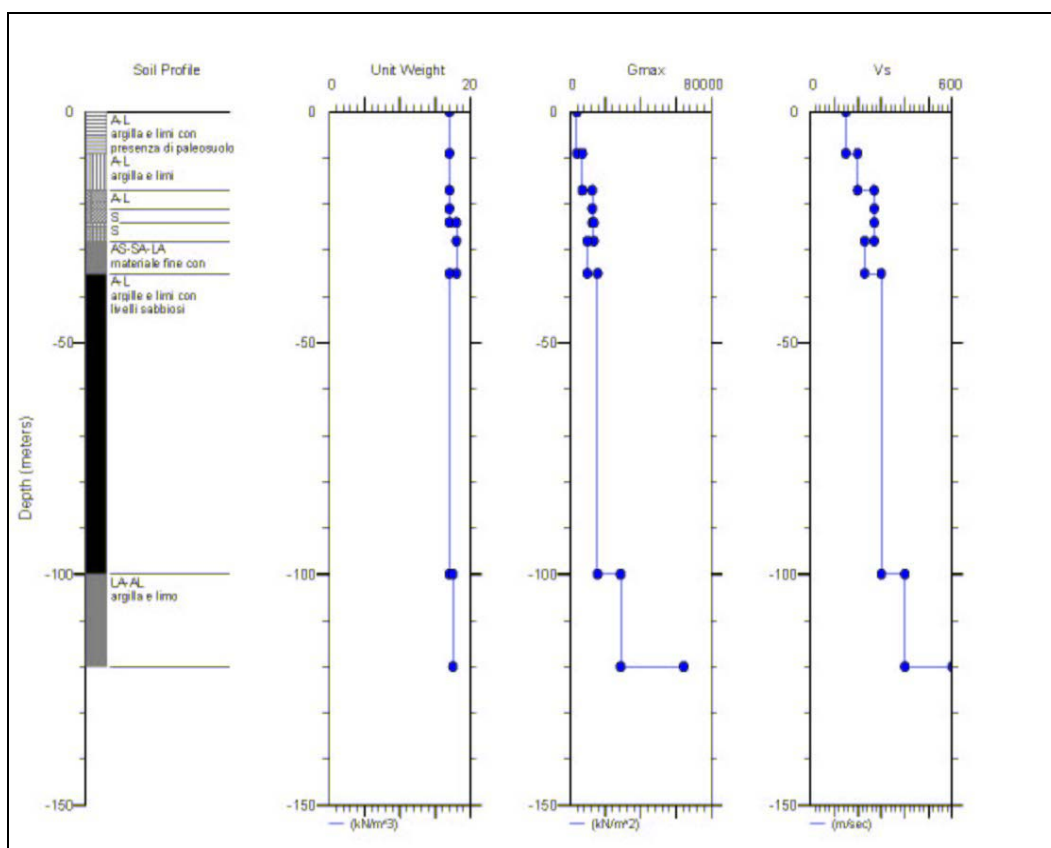
**Schema relativo all'accelerazione, velocità, spostamento relativo all'input 0000126**



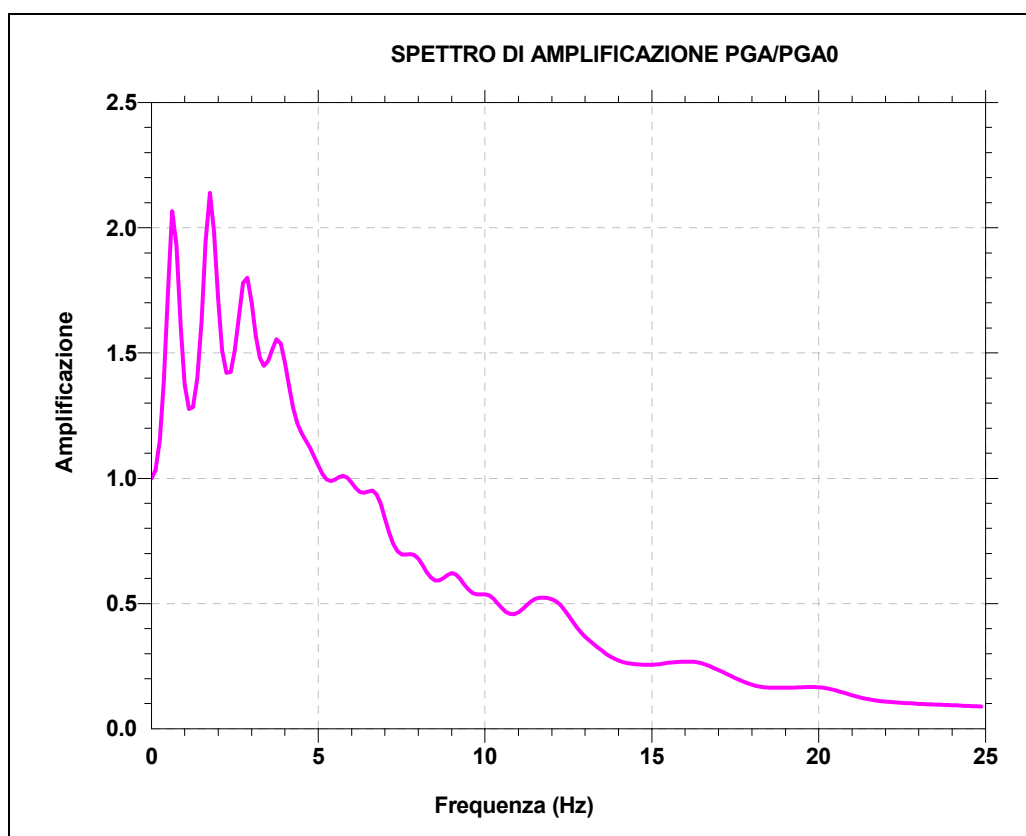
**Schema relativo all'accelerazione, velocità, spostamento relativo all'input 000354**

**Figura 4.3: Segnali di riferimento relativi al Comune di Castello D'Argile**

**Capoluogo**



**Figura 4-4a Stratigrafia di riferimento schematizzata utilizzata per la modellazione sismica**



**Figura 4-4b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo la colonna litologica tipo**

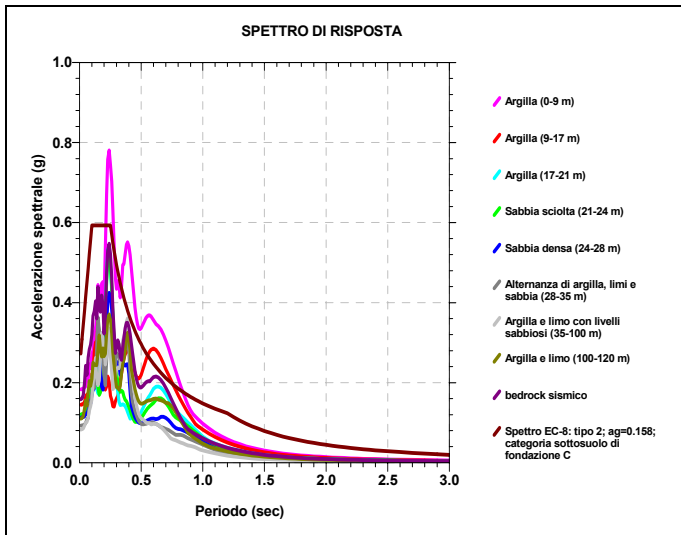


Figura 4.4c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

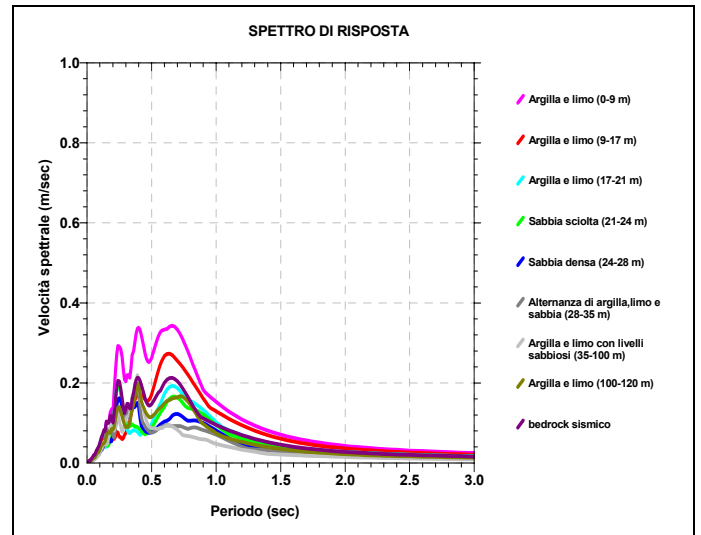


Figura 4.4d Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

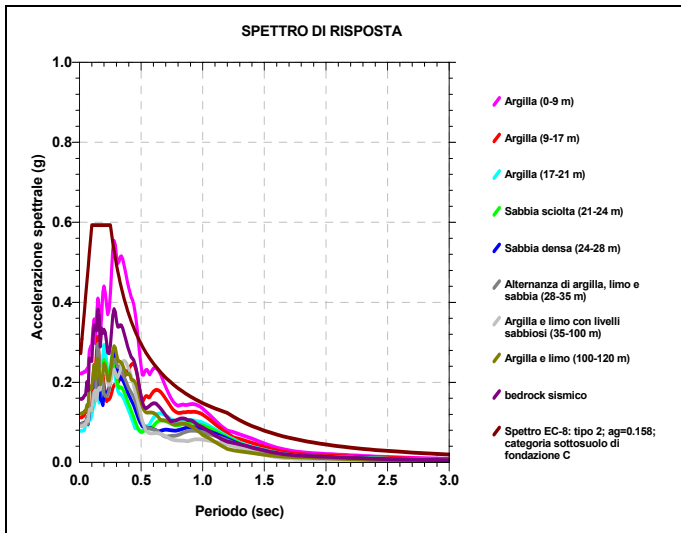


Figura 4.4e Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000126

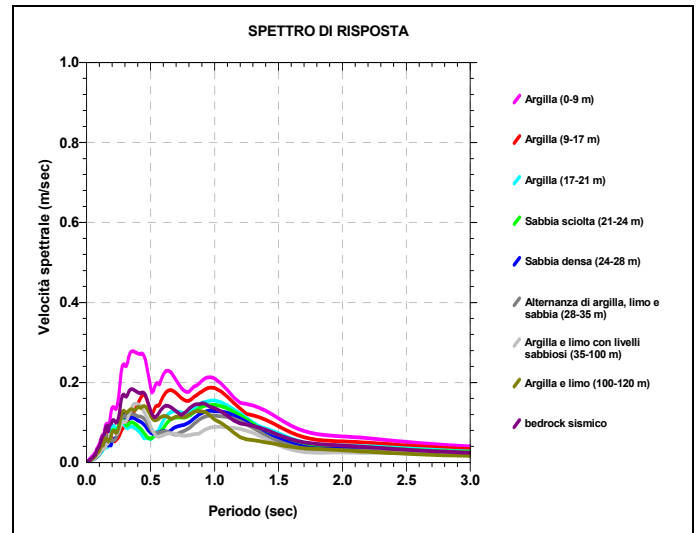


Figura 4.4f Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000126

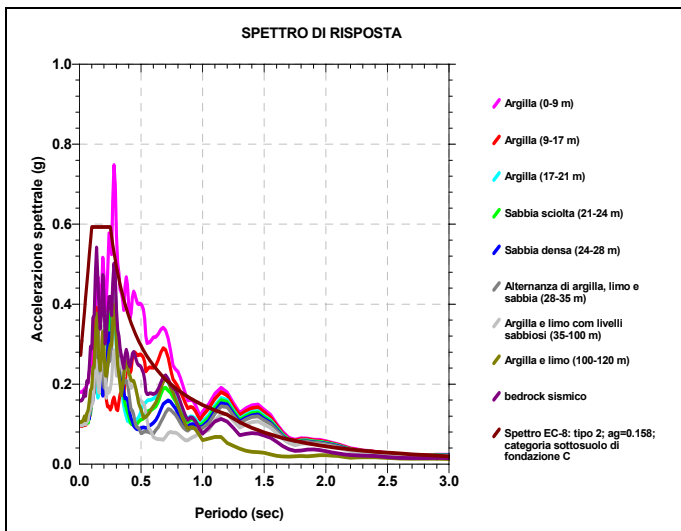


Figura 4.4g Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000354

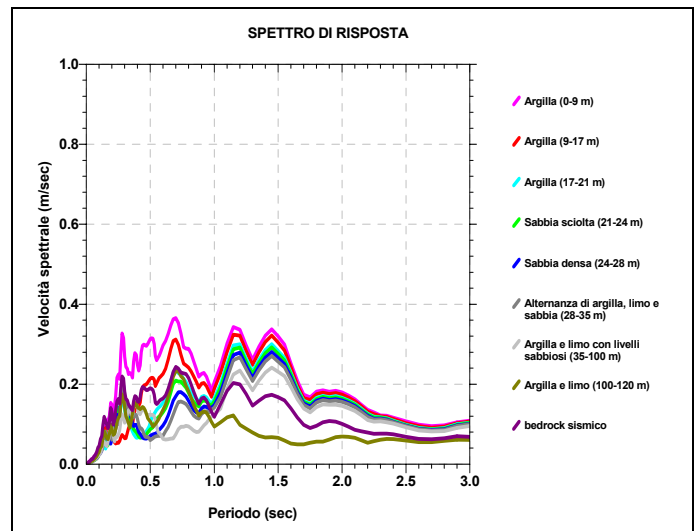


Figura 4.4h Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità PSV, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000354



#### 4.4.2 Elaborazione dell'amplificazione

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere tre differenti "spettri di risposta", ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato. Questi "spettri" vengono ripresi nell'ambito della progettazione per la verifica sismica delle strutture.

Dall'implementazione del modello all'interno del codice di calcolo, si ottengono diverse informazioni relative ad alcuni parametri fondamentali quali: pseudoaccelerazione spettrale (PSA), pseudovelocità spettrale (PSV), fattore di amplificazione (FA).

- Il primo spettro ottenuto riguarda la PSA. Nelle figure 4.4c, 4.4e, 4.4g, 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 (valori equiparabili ad edifici di varia altezza da un piano a torri molto alte).

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 4.4d, 4.4f, 4.4h). 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 SI, *Intensità spettrale di Housner* richiesto nel terzo livello di caratterizzazione (Delibera regionale n 112/2007). L'intensità di Housner-SI 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.

Il terzo spettro ottenuto riguarda l'amplificazione locale (figura 4.4b). 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 Hz. Le frequenze naturali individuate sono (figura 4.4b):

Frequenze [Hz]	Periodi [secondi]	Fattori di Amplificazione
1	1	2.1
2	0,5	2.1
3	0,33	1.8
4	0,25	1.5

Ovviamente nelle verifiche da realizzare con i POC/PUA occorrerà appurare in modo più puntuale:

- la reale continuità delle situazioni stratigrafiche di sottosuolo con prove dirette, almeno fino a 30 metri di profondità;
- la distribuzione verticale delle Vs e la loro variazione orizzontale, anche modificando di conseguenza la categoria di sottosuolo di fondazione;
- la profondità del bedrock sismico e l'eventuale sua variazione con indagini dirette o indirette (geofisica).

#### **4.5 Verifiche della suscettibilità alla liquefazione**

Questa verifica, assai delicata da compiere alla scala territoriale, richiede la stima: del "fattore scatenante" (evento sismico atteso), dei "fattori predisponenti" (caratteristiche meccaniche dei sedimenti), e dei possibili "effetti" sulle strutture esistenti o di progetto.

Le caratteristiche dell'evento sismico atteso sono: magnitudo ( $M$ ) = 5,5, accelerazione  $a_g$  (0,158g). I fattori predisponenti sono riassumibili nella categoria di sottosuolo di fondazione "C", e nel potenziale di liquefazione dei sedimenti saturi. Gli effetti sulle strutture dovranno essere stimati in relazione ai progetti per i nuovi insediamenti, nell'ambito delle analisi relative ai POC, ove necessario;

mentre per l'esistente occorrerebbe un laborioso rilevamento delle caratteristiche dell'edificato.

Le proprietà delle sabbie liquefacibili sono ricavate da informazioni d'archivio e dalle conclusioni ottenute dalle analisi e studi realizzati per i PSC dei Comuni di Argelato e Castelmaggiore. Per Castello D'Argile tutte le prove eseguite sono rappresentative del modello Capoluogo, la distribuzione delle sabbie supposte liquefacibili è ricavata solo da elementi paleogeografici e da verticali di controllo d'archivio, pertanto le potenze e le tessiture devono essere appurate in sede di POC/PUA.

Solamente la CPTE3 e la prova a 30 metri eseguita per una variante del 2007 (CPTU1) hanno attraversato tra i 13 ed 15 metri tessiture sabbiose fini con limi che potrebbero rappresentare depositi di "overbank" di canali vicini al Capoluogo. Queste sabbie tuttavia sono relativamente profonde e poco potenti per costituire un pericolo per edifici su fondazioni superficiali, inoltre non presentano le caratteristiche tipiche dei sedimenti liquefacibili.

Le misure di resistenza alla punta normalizzate, ottenute dalle prove penetrometriche CPTE/U, consentono di ottenere indirettamente una prima stima della possibile liquefazione dei sedimenti saturi sottoposti ad impulsi ciclici. Per questa stima si è ricorsi alle proiezioni logaritmiche di Robertson (1996) e di Olsen, Koester & Hynes (1996): gli esiti ottenuti dalla punta strumentata, durante la penetrazione nel sedimento, sono proiettati nel diagramma che integra i logaritmi dei valori di "Qc", con i logaritmi dei valori della "Fr".

I diagrammi riprodotti nelle figure 4.5a, 4.5b rappresentano, l'esito della proiezione ottenuta con i dati meccanici relativi rispettivamente, alle CPTU1 (variante 2007), ed alla CPTU3, per ogni intervallo di 10 cm (media di 5 valori misurati dalla punta elettrica durante la penetrazione dello strumento).

Il colore dei punti plottati è riferito alla profondità dal p.c., il numero di punti per ogni colore indica lo spessore complessivo dell'insieme di intervalli considerati, l'addensamento o la diffusione dei punti colorati nei vari campi fornisce l'immagine dell'uniformità od eterogeneità di comportamento in relazione ai parametri considerati.

Nelle due figure, i punti plottati nel primo riquadro a sinistra (Robertson 1996) ricadono in campi identificati con lettere maiuscole:

- campo A = liquefazione ciclica possibile, in dipendenza dall'ampiezza e dal tempo del carico ciclico;
- campo B = liquefazione improbabile,  $I_c$  (Indice di Comportamento)  $>2,6$  ;
- campo C = liquefazione fluida ciclica possibile, in dipendenza dall'ampiezza e dal tempo del carico ciclico dalla plasticità e sensitività.

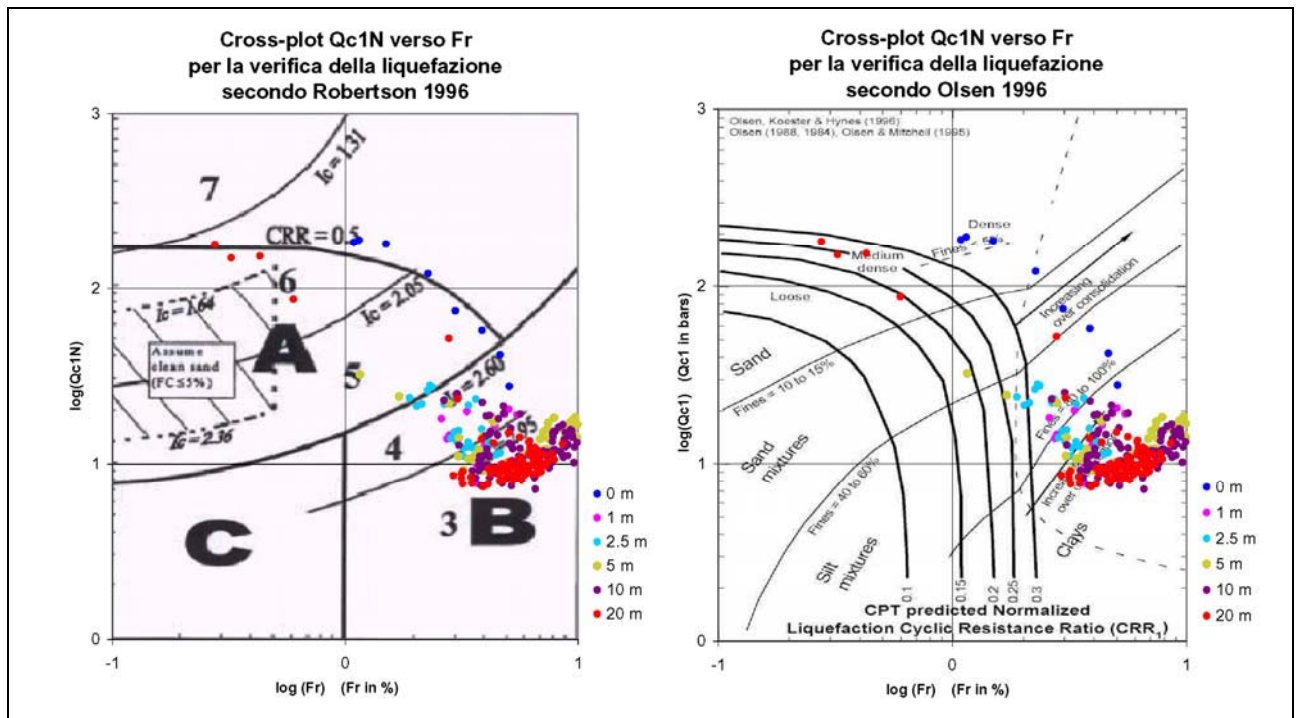


Fig. 4.5a - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU1 (Variante 2007) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD.

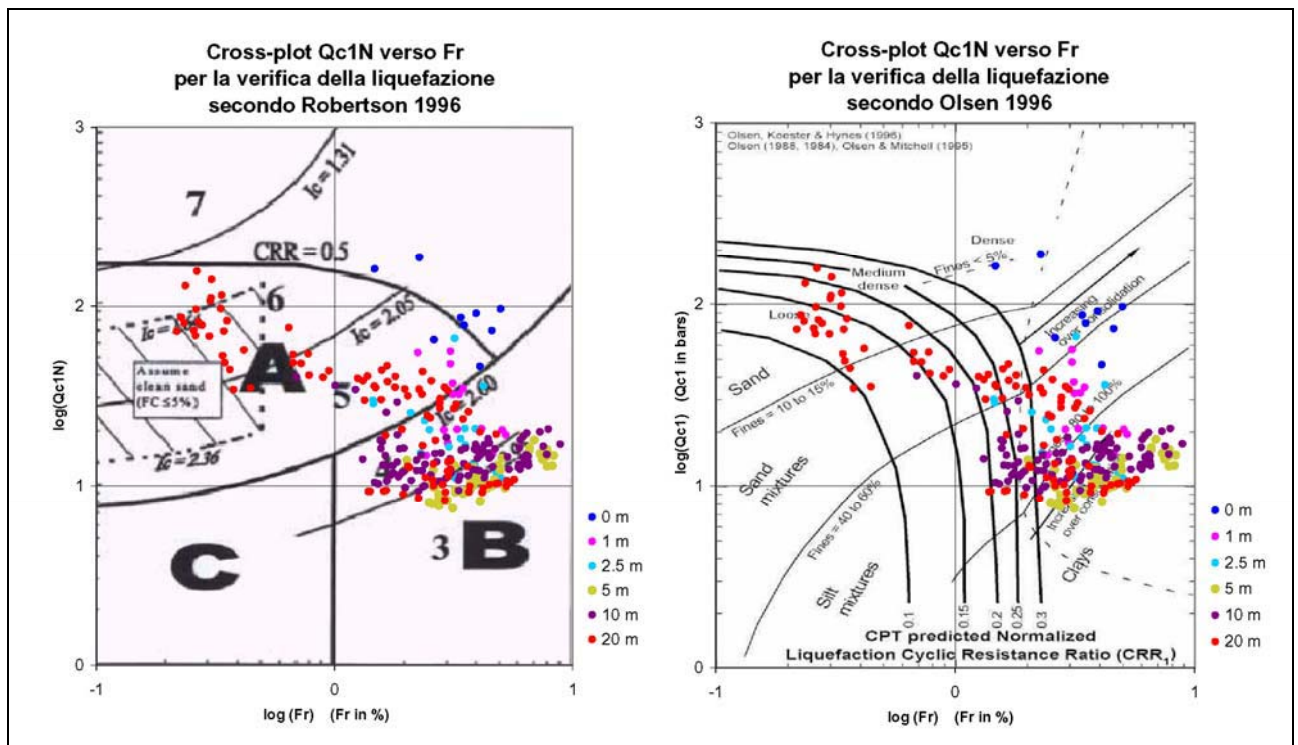


Fig. 4.5b - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU3 nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD.

Nel secondo riquadro (Olsen e Mitchell, 1995; Olsen et al, 1996) si possono leggere i valori ricavati per CRR (Cyclic Resistance Ratio), oltre alle tessiture ed al grado di consolidazione dei sedimenti attraversati.

L'insieme dei due diagrammi consente di avere una percezione visiva e sintetica delle condizioni di liquefacibilità calcolate per le tre verticali indagate.

Per la CPTU1 (Variante 2007) si nota immediatamente che la distribuzione dei punti plottati si concentra nel campo "B" e che i rari punti interni al campo "A" sono rappresentativi di sedimenti posti a profondità maggiori di 20 metri (effetti della liquefazione scarsamente risentiti per strutture con fondazioni di superficie), oppure di sedimenti non saturi (profondità minori di 2,5 metri non liquefacibili). In sostanza la CPTU1 rappresenta sedimenti con scarsi o ininfluenti effetti di liquefazione.

Gli esiti ottenuti con la CPTU3 mostrano numerosi punti rappresentativi di strati di spessore superiore al metro di sabbie più o meno limose collocate decisamente sotto i 20 metri di profondità (effetti della liquefazione scarsamente risentiti per strutture con fondazioni di superficie), mentre ben pochi sono i punti relativi a strati posti attorno ai 10 metri.

Le altre due penetrometrie eseguite rispettivamente a "Venazzano" (CPTU1), e in località "Cà Rusconi" (CPTU2) dimostrano assenza di sedimenti liquefacibili in tutto l'intervallo compreso tra il p.c. e 15 metri di profondità. Le prove si sono arrestate attorno ai 23 metri di profondità entro uno strato di sabbie dotate di densità relativa così elevate ( $D_r > 80\%$ ) da non essere superabili con lo strumento di misura utilizzato.

In appendice sono riportati i diagrammi relativi alle prove penetrometriche citate nel testo ed utilizzate per le analisi, nel CD associato al testo sono riportati i valori numerici misurati durante l'esecuzione delle prove ogni 2 centimetri di avanzamento, ed i valori geomeccanici derivati.

In conclusione, l'insieme delle prove e delle analisi effettuate mostra un quadro coerente di risultati, che accerta la *non liquefacibilità o densificazione* dei sedimenti saturi compresi nell'intervallo di 15 metri di profondità dal p.c., sottoposti ad impulsi ciclici sismici. Solamente le informazioni stratigrafiche e paleogeografiche desunte da sondaggi d'archivio indicano, a profondità dal p.c. comprese tra i 4 ed i 12 metri circa, la presenza di sedimenti granulari saturi assimilabili a quelli liquefacibili, anche per sismi di magnitudo poco elevata (magnitudo di 5,5), già analizzati ad Argelato ed a Castelmaggiore. Queste sabbie non sono state campionate e studiate, la loro verifica è delegata all'esecuzione dei POC/PUA.

Inoltre occorre precisare che anche la distanza dall'epicentro del terremoto costituisce un parametro di stima della liquefacibilità (P. Galli, 2000), e per eventi



di magnitudo inferiore a 6 la distanza dalla zona epicentrale per produrre liquefazione deve essere molto modesta, dell'ordine della decina di chilometri.

I sismi attesi nell'area bolognese, con magnitudo massima di 5,5 hanno per lo più epicentro nell'Appennino, nel ferrarese, o nella pianura tra Reggio e Modena. Gli eventi dovuti alla struttura sepolta del ferrarese appaiono già troppo lontani per provocare effetti significativi (in quanto a liquefazione) per il territorio in esame, la probabilità si verificano le condizioni di liquefazione delle sabbie sature della pianura bolognese appaiono dunque molto basse.

I dati tuttavia indicano che possono essere presenti alvei del Reno relativamente recenti nel primo sottosottosuolo più francamente sabbiosi (tipo il campione di Funo di Argelato). In questi casi, il grado di approssimazione insito sia nei metodi stocastici, che hanno guidato nella classificazione sismica dei Comuni d'Italia, sia nelle prove ed analisi di terreno, è ancora troppo alto per poter garantire ragionevolmente la sicurezza senza procedere ad accertamenti specifici.

## 5. MICROZONIZZAZIONE E PROPOSTA NORMATIVA

La microzonizzazione, sintesi grafica e geografica delle informazioni raccolte ed elaborate nel presente lavoro, è rappresentata in Tavola 1, allegata fuori testo. Nella tavola, le zone sono distinte con una sigla alfanumerica che riporta:

- la categoria del sottosuolo di fondazione con una lettera maiuscola,
- la possibilità di liquefazione con numeri romani,
- il fattore di amplificazione locale attribuito con numero arabo.

**La categoria di sottosuolo di fondazione riscontrata nell'intero territorio comunale è "C".** Le velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) calcolate sono molto simili ed uniformi tra loro, indipendentemente dal metodo di misura e calcolo utilizzato, sia quelle misurate direttamente con il “cono sismico” ( $V_s=211$  m/s), sia quelle derivate dai parametri geomeccanici misurati dalle CPTU ( $V_s=194\div 185$  m/s), sia gli esiti ottenuti dalla MASW ( $V_s=220$  m/s), e dalle 11 prove tomografiche. Ovviamente questa constatazione supporta la correlabilità delle  $V_s$  ai territori circostanti le prove effettuate, e consente di estrapolare anche le conclusioni alle zone densamente urbanizzate del Capoluogo e di Venazzano. In appendice sono riportati i diagrammi ottenuti dal tomografo digitale e gli esiti della MASW.

La zonizzazione si differenzia quindi solamente in relazione agli effetti locali legati ai parametri morfologici, scarpate di scavo delle cave a fossa; ai fattori di amplificazione locale; ed infine alla possibilità di liquefazione dei sedimenti saturi.

### 5.1 Morfologia

Non sono note scarpate di cava entro o in vicinanza delle aree interessate dal PSC, né nelle aree densamente insediate. Il fattore relativo alla morfologia è pertanto pari a 1.

### 5.2 Liquefazione

La zonizzazione delle aree in cui si sono supposti sedimenti granulari saturi è distinta da appositi retini nella tavola 1, e con numeri romani nelle sigle relative alla zonizzazione sismica, questi ultimi indicano il grado di liquefacibilità:

- I – **Possibilità di liquefazione**, a questa categoria corrispondono le aree in cui è segnalata presenza di sabbie nei primi 12 metri. Oltre a verificare la presenza di spessori superiori al metro di sedimenti granulari il cui fuso dimostri la possibilità di liquefazione, è anche indispensabile controllare la quota piezometrica della falda superficiale;

In tutte le aree in cui non è codificata la liquefazione (sigle con lettera e numero arabo, senza numero romano) non risultano essere presenti sedimenti liquefacibili

per spessori continui superiori al metro, entro i primi 15 metri di profondità. Nella fase di obbligatorio approfondimento per i POC, PUA, o anche nella fase di progettazione di massima, le indagini geognostiche hanno anche il compito di confermare o smentire questo asserto.

### 5.3 Amplificazione

La più volte citata delibera regionale propone, per la definizione delle amplificazioni locali nei comuni inseriti in terza classe, l'impiego di apposite tabelle riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche (secondo livello di analisi). Per l'approccio generale che caratterizza questa fase della pianificazione, ancora territoriale, si è ritenuto di ricavare le amplificazioni locali dalle  $V_s$  utilizzando appunto le tabelle regionali.

La media delle velocità delle onde di taglio  $S$ , nei primi trenta metri di sottosuolo, è risultata inferiore o poco superiore a 200 m/s in tutte le zone indagate. Stimando il bedrock sismico a quote maggiori di 100 metri si sono assunti i valori relativi alle tabelle <Pianura 2> (figura 5).

Gli esiti di amplificazione ottenuti dalla colonna litologica media considerata, ricavata dall'insieme dei dati d'archivio disponibili e dalle prove sismiche effettuate, è estrapolabile a gran parte del territorio comunale, sono più cautelativi. Il modello "Capoluogo" ha infatti fornito:

$$F.A. \text{ di } PGA=2,2$$

a fronte di valori regionali, tratti dalla tabella <Pianura 2> per  $V_s = 200$  m/s, pari a:

$$F.A. \text{ di } PGA=1,5; FA_{0,1s-0,5s}=1,8; FA_{0,5s-1s}=2,5$$

Le sigle riportate nella Tavola 1 riflettono la zonizzazione illustrata, e sono:

- **C-1** = sottosuolo di fondazione "C" ( $180 < V_{s30} < 200$  m/s), non è nota la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, nei primi 15 metri di sottosuolo; fattori di amplificazione locale  $FA \geq 1,8$  per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e  $FA = >2,5$  per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-I-2** = sottosuolo di fondazione "C" ( $V_{s30}=200$  m/s), sedimenti in cui è possibile avvenga la liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo  $\geq 5,5$ ; fattori di amplificazione locale  $F.A.= 1,8$  per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi;  $F.A.= 2.5$  per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.



- **C-2**= sottosuolo di fondazione “C” ( $V_{s30}=200$  m/s), non è nota la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, nei primi 15 metri di sottosuolo; fattori di amplificazione locale F.A.= 1,8 per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; F.A.= 2.5 per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.

#### **5.4 Proposta normativa**

Art. 1 – I POC/PUA potranno variare i perimetri ed i parametri delle microzone sismiche riportati nella Tavola 1 del PSC, solamente a seguito di approfondite indagini geognostiche e prospezioni geofisiche, eseguite con adeguata strumentazione.

Art. 2 - I POC ed i PUA dovranno effettuare ricerche di dettaglio finalizzate a definire:

- 1) la profondità del “bedrock sismico” locale, e la sua variazione di quota entro i confini del POC, e per un perimetro esterno comprendente le aree già insediate, come stabilito dalle norme del POC. Entro i 60 metri di profondità può costituire “bedrock sismico” lo strato che fornisca un significativo incremento della Vs (maggiore del 40% rispetto allo strato precedente), 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 Vs note, seguendo il gradiente di incremento, raggiunge i 600 m/s<sup>1</sup>;
- 2) le velocità delle onde di taglio Vs almeno per i primi 31 metri dal p.c. misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;
- 3) la stratigrafia e le tessiture dell’intervallo litologico almeno dei primi 15 m di sottosuolo, anche per la stima degli effetti locali indotti dalla liquefacibilità;
- 4) le quote piezometriche e le soggiacenze della falda locale.

Art. 3 - La strumentazione di indagine, il numero minimo di prove da effettuare in relazione alla microzonizzazione sismica, e le eventuali maggiori profondità di prospezione, saranno indicate nelle norme di ogni POC o PUA;

Art. 4 – La definizione dei fattori di amplificazione locale (FA) saranno ricavati da apposita modellistica di simulazione sismica secondo le necessità. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso dovranno essere esposti, anche in formato numerico, nella relazione geologica che accompagna ogni comparto di espansione.

---

<sup>1</sup> La delibera RER richiede di raggiungere gli 800 m/s, le prove effettuate per Castel Maggiore dimostrano l’impossibilità di ricavare questo esito con profondità credibili (cioè inferiori ai 300 metri).



Pertanto il numero e la qualità delle prove ed indagini geologiche e geofisiche dovranno essere adeguate all'importanza degli interventi, all'ampiezza delle aree di progetto, ed alla possibilità di liquefazione dei sedimenti saturi.

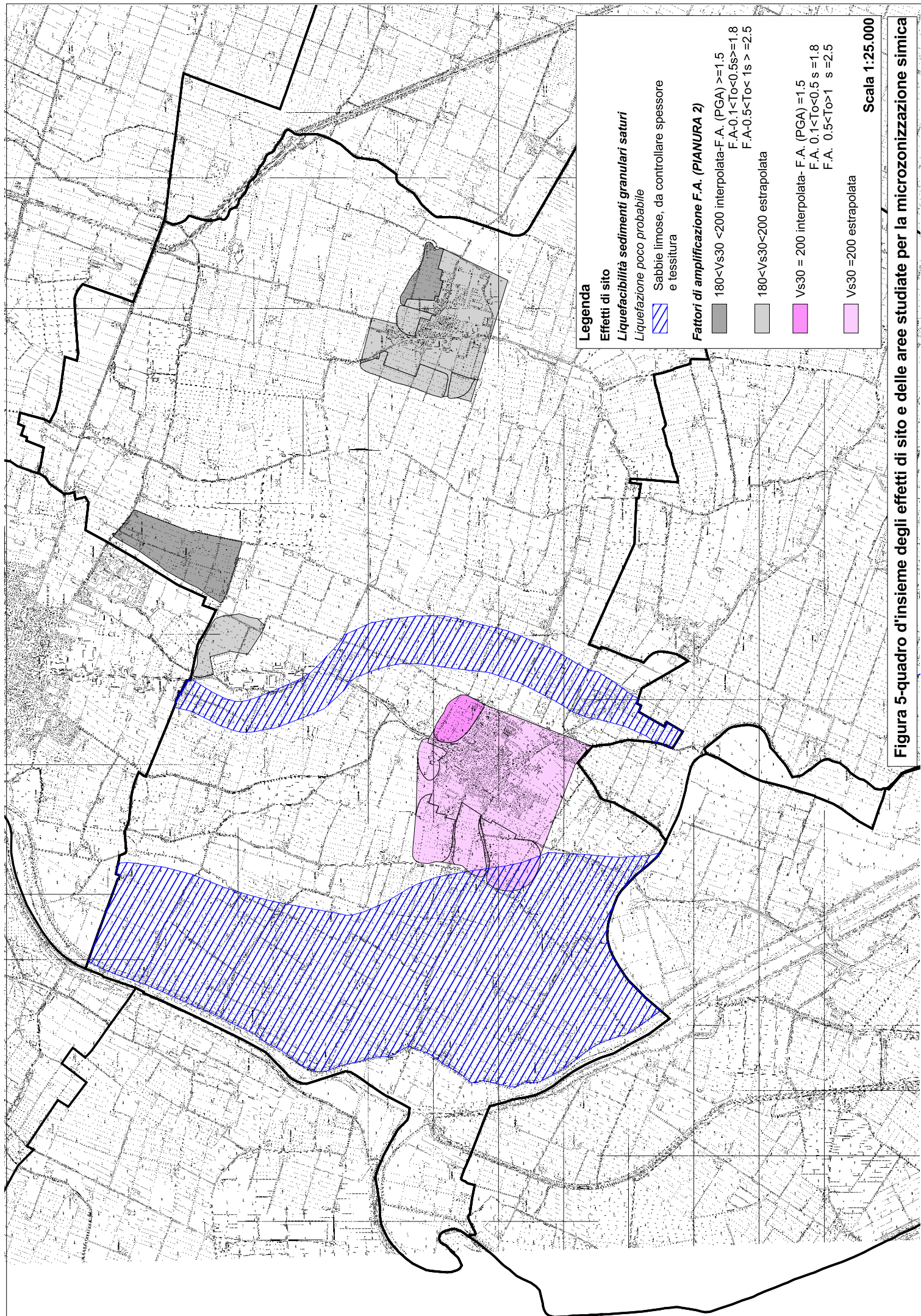


Figura 5-quadro d'insieme degli effetti di sito e delle aree studiate per la microzonazione sismica

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Castello d'Argile  
Ponte Assa  
Mascerino - Venezzano  
Viel & Sangiorgi  
11-apr-08

Falda 1.5 m

Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
Azzeramento Inizio prova  
Ultimo taratura guadagno 7-gen-2008  
Ultimo taratura per deriva termica 7-gen-2008

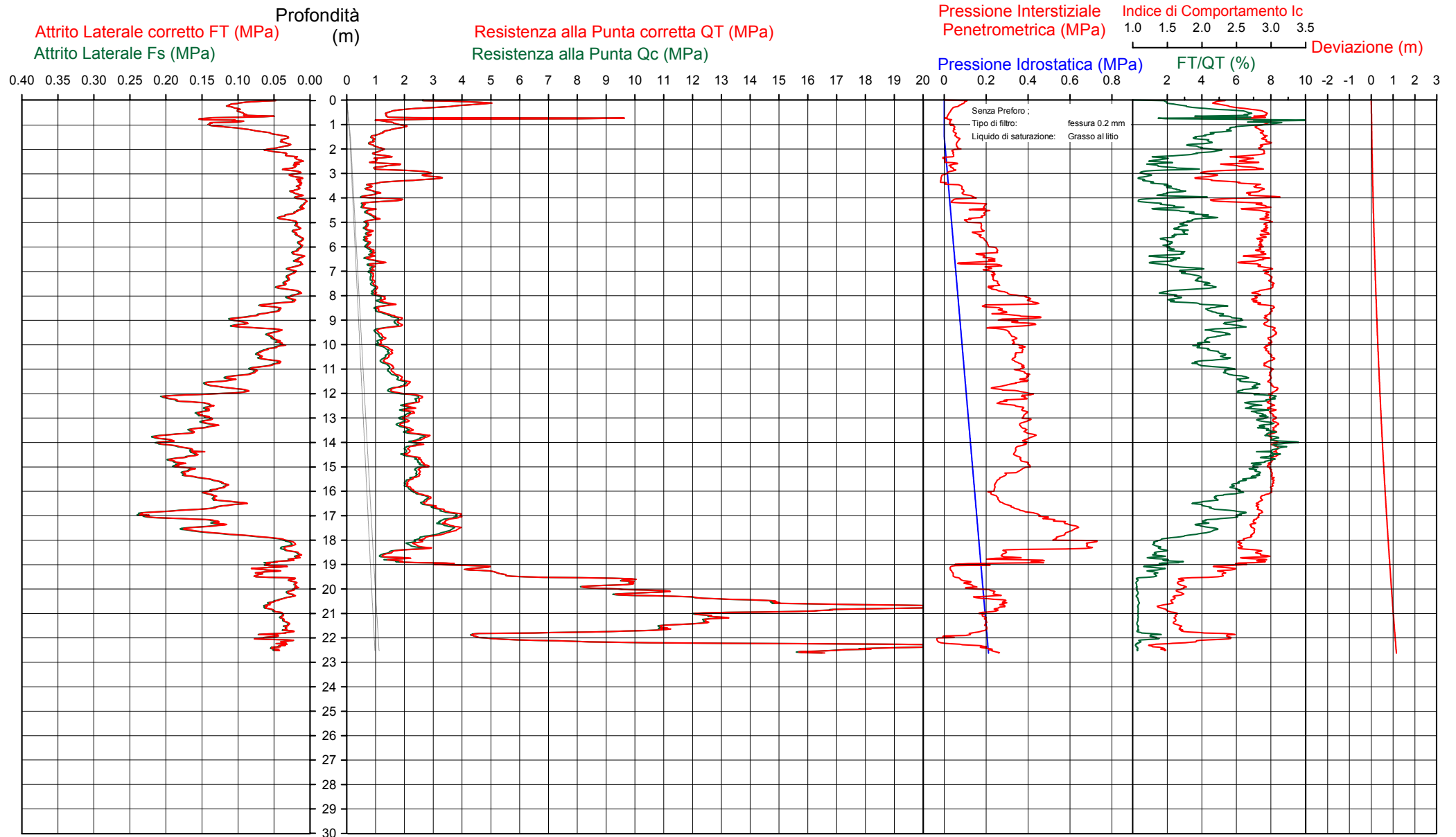


Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com

# CPTU

## 1

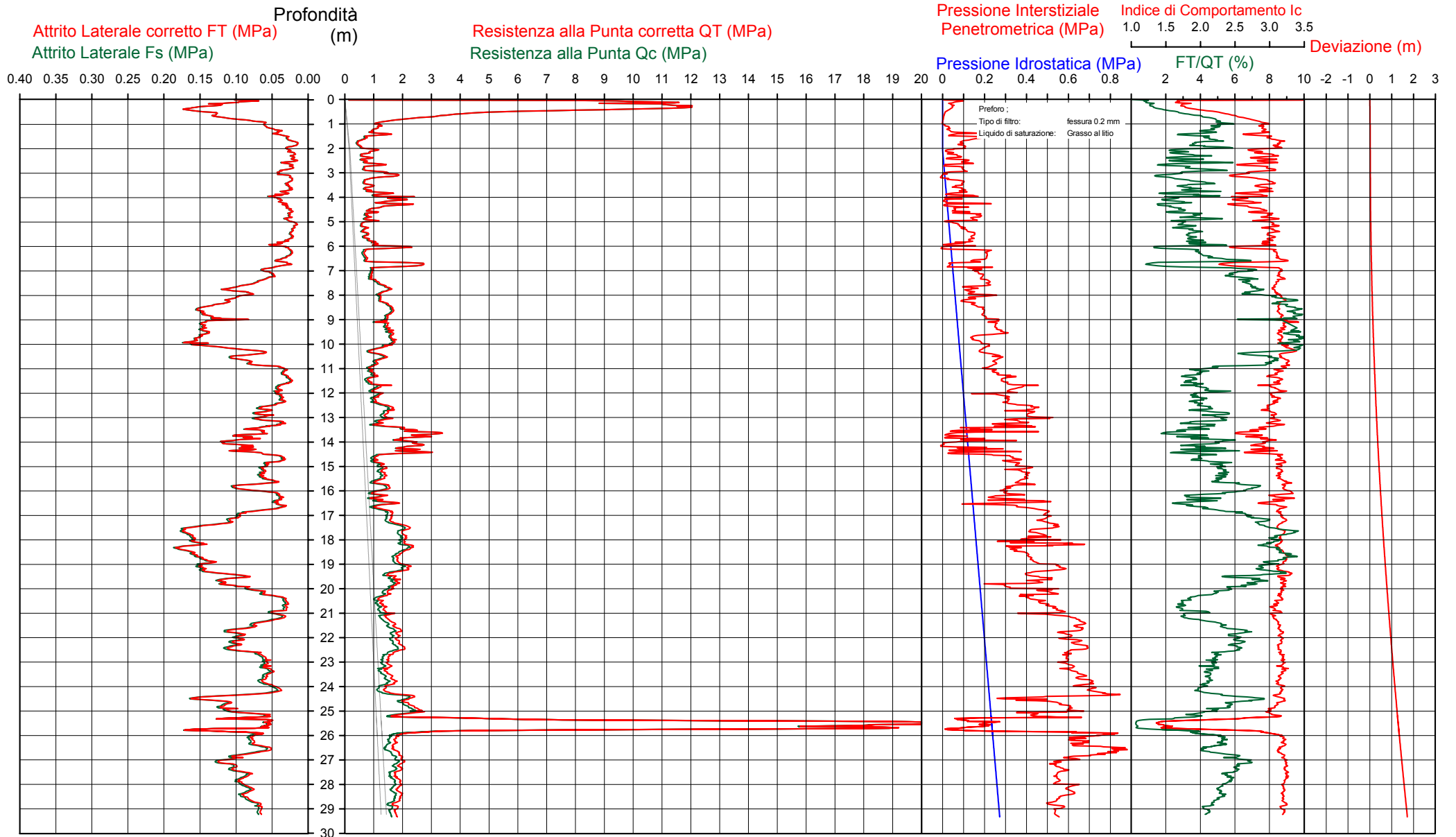


Comune: castello d'argile  
 Via: scuola  
 Localita': scuola di castello d'argile  
 Committente: studio viel  
 Data: 06-lug-07

Falda: 2.1 m  
 Sigla della Punta: Tecnopenta 161006  
 Azzeramento: Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno: 24-mag-2007  
 Ultimo taratura per deriva termica: 24-mag-2007

# CPTU

## 1



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Castello d'Argile  
Budriola 4  
Castello d'Argile  
Viel & Sangiorgi  
11-apr-08

Falda

2.3 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
7-gen-2008  
7-gen-2008



Società di  
Geologia  
Territoriale

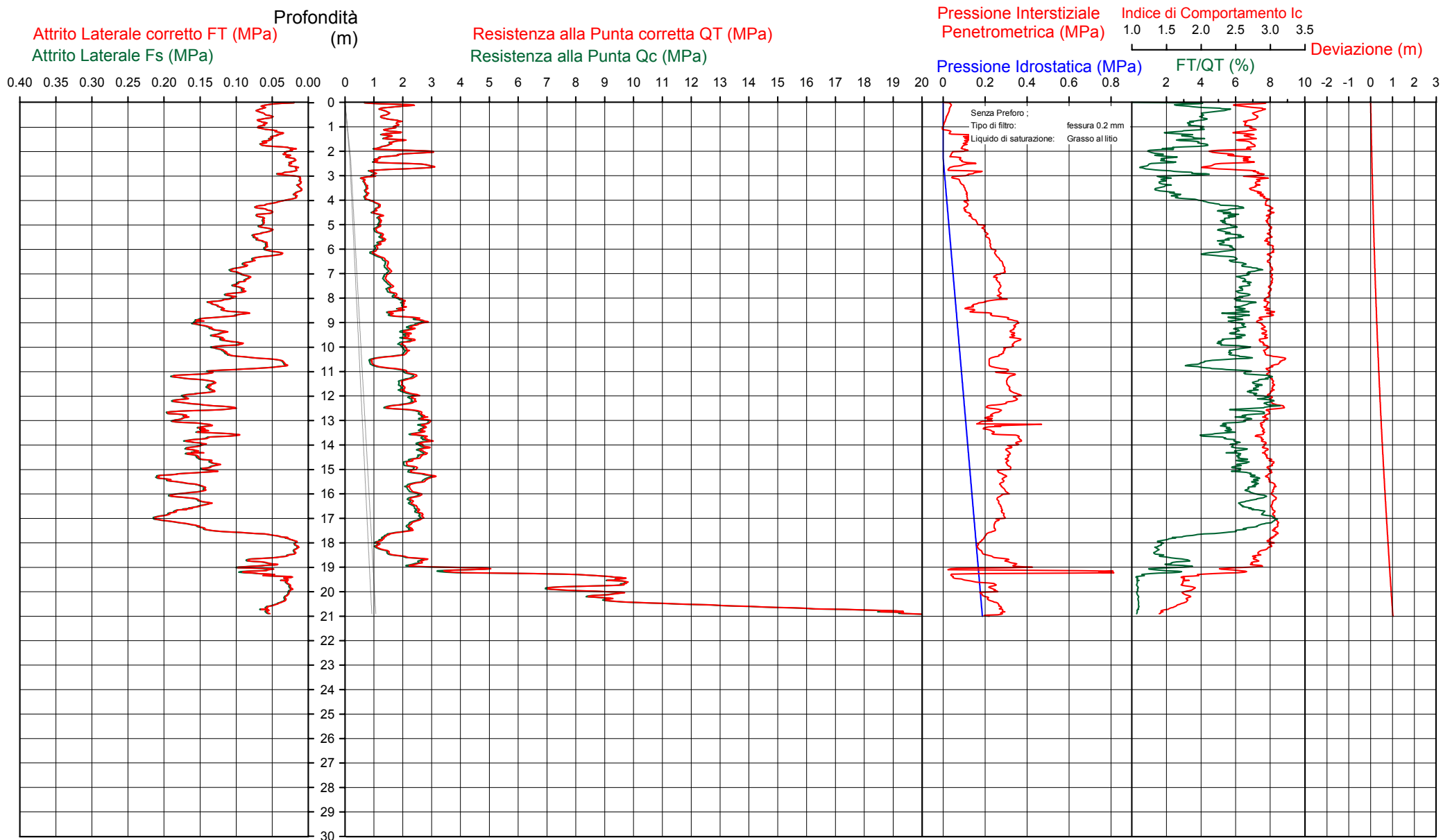
S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

# CPTU

## 2



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Castello d'Argile  
Oriente  
Castello d'Argile  
Viel & Sangiorgi  
14-apr-08

Falda

1.8 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
7-gen-2008  
7-gen-2008



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

# CPTU

## 3

