

Comune di
CASTEL MAGGIORE



PSC

ELABORATO IN FORMA ASSOCIATA

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

RELAZIONE GEOLOGICA
Microzonizzazione sismica

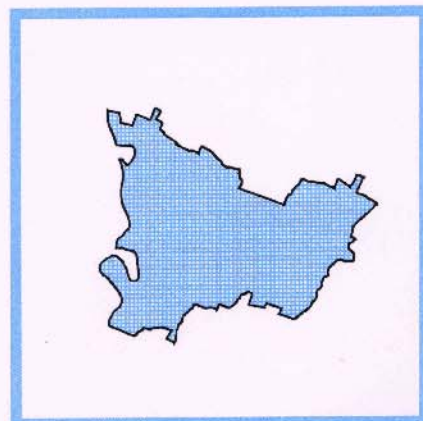
Sindaco
Marco Monesi

STUDIO VIEL & SANGIORGI
Elaborazione: Dott.ssa Geol. Venusia Ferrari
Dott. Geol. Samuel Sangiorgi
Dott. Geol. Giovanni Viel

Segretario generale
Dott. ssa Lea Maresca

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. MODELLO DI SOTTOSUOLO E ACQUE SOTTERRANEE		9
4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE		14
4.1 Il quadro normativo di riferimento		14
4.2 Obiettivi dell'indagine sismica		18
4.3 Verifica monodimensionale dell'amplificazione locale		19
4.4 Verifiche della suscettibilità alla liquefazione		28
4.4.1 Indagini geognostiche in sito		28
4.4.2 Fusi granulometrici		32
4.4.3 Prove Triassiali Cicliche a liquefazione		33
5. MICROZONIZZAZIONE E PROPOSTA NORMATIVA		40
5.1 Morfologia		40
5.2 Liquefazione		40
5.3 Amplificazione		41
5.4 Proposta normativa		42
5.4.1 Proposta di indirizzo normativo		44
5.4.2 Proposta normativa		44

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 Castel Maggiore, 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 attiene il tema delle acque sotterranee, l'ARPA, in sede di osservazioni al piano associato, ha richiesto che, in particolare per il Comune di Castel Maggiore, venissero realizzati almeno due piezometri mirati alla conoscenza specifica di falde già riconosciute nel Comune di Bologna: Sup1/Sup2 e Sup4.

Per quanto detto, la presente relazione, costituisce l'integrazione ed il completamento del lavoro svolto per il PS Associato, relativa al Comune di Castel Maggiore, in merito alle tematiche delle acque sotterranee e della caratterizzazione sismica (pericolosità e microzonazione). In particolare, la scoperta della presenza di strati di sabbie relativamente superficiali la cui tessitura rientra nel fuso granulometrico caratteristico dei sedimenti saturi liquefacibili, ha richiesto uno speciale approfondimento analitico. Infatti il Capoluogo è direttamente interessato dalla presenza di una serie di antichi alvei sabbiosi del Reno variamente sovrapposti.

2. INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE

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

a) Prove eseguite per questo lavoro:

- ❖ due sondaggi a carotaggio continuo → denominati “S1” ed “S2”, spinti rispettivamente fino a 24 m e 32,6 metri dal p.c. Nei due sondaggi, sono stati posizionati due piezometri semplici a tubo aperto. Il primo piezometro drena l'acquifero freatico, qui potente poco più di 21 metri, in cui ha sede la falda denominata Sup4 e/o Sup3. Il secondo piezometro è stato scavato in una posizione in cui è praticamente assente l'acquifero freatico, o al più è costituito da limi più o meno sabbiosi a bassa conducibilità. Il piezometro è costituito dai primi 27 metri di tubo cieco, e dagli ultimi 6 metri da tubo fenestrato, il drenaggio tra tubo e sedimenti è stato realizzato solamente negli ultimi 6 metri di profondità in modo da interessare solamente la falda denominata Sup2;
- ❖ due 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.
- ❖ due prospezioni sismiche a rifrazione della lunghezza ciascuna di 175 m → denominate St-1 e St-2, con elaborazioni tomografiche acquisite per le onde sia di compressione, sia di taglio. Gli stendimenti sono stati realizzati mediante allineamento di 36 coppie geofoniche, interspaziate di 5 m, con asse strumentale verticale (per ricezione onde P) ed orizzontale (per ricezione onde S). La configurazione adottata ha permesso di raggiungere una profondità di investigazione massima di circa 35 metri circa;
- ❖ indagini con tromografo digitale → con misure puntuali speditive, ad alta risoluzione, del microtremore sismico, finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo;
- ❖ dieci analisi granulometriche → su campioni di sedimento granulare saturo, prelevati dalle carote dei sondaggi “S1” e “S_{REER}”;
- ❖ una prova triassiale ciclica a liquefazione → su provini di sabbie sature prelevate dal sondaggio S1. Queste raffinatissime analisi, sono state effettuate dall'ISMGEO (ex ISMES), uno dei pochi laboratori geotecnici italiani attrezzati per questo tipo di prove.

b) Prove di repertorio:

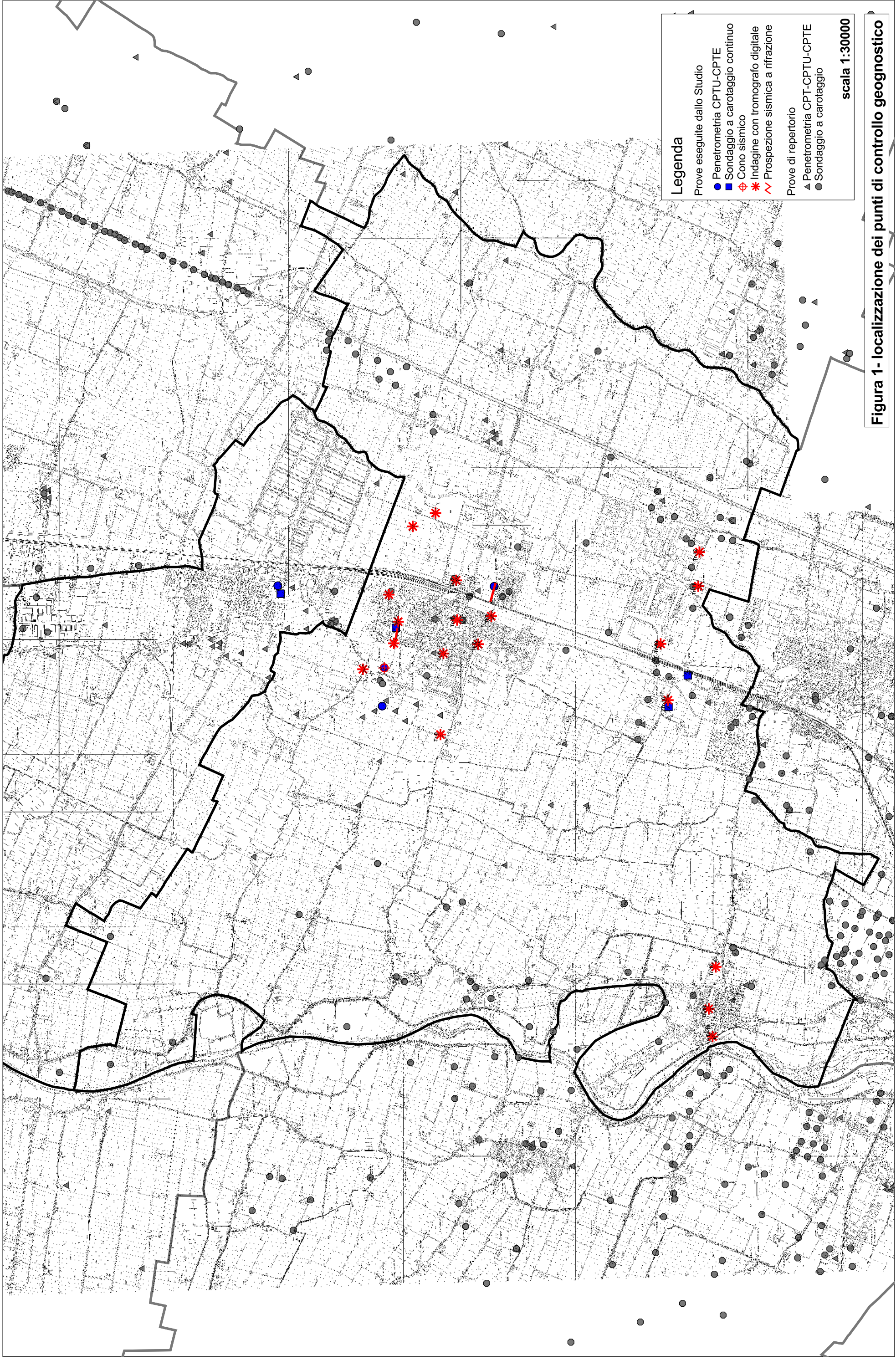
- ❖ sondaggi a carotaggio → recuperati dalla Banca Dati geognostica della Regione Emilia-Romagna, tra questi in particolare dal sondaggio S_{REER} ci è stato concesso di prelevare due campioni di sabbie su cui effettuare l'analisi granulometrica. A queste si aggiunge un



sondaggio effettuato dallo Studio Scrivente in Comune di Argelato, in prossimità del confine con Castel Maggiore, qui denominato “S3”;

- ❖ prove penetrometriche CPT, CPTE, CPTU → ancora desunte dalla B/D geognostica della R.E.R;
- ❖ una prova triassiale ciclica a liquefazione effettuata dall’ISMGEO (ex ISMES) su campione di sabbie prelevato a Funo di Argelato (vedi PSC di Argelato).

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

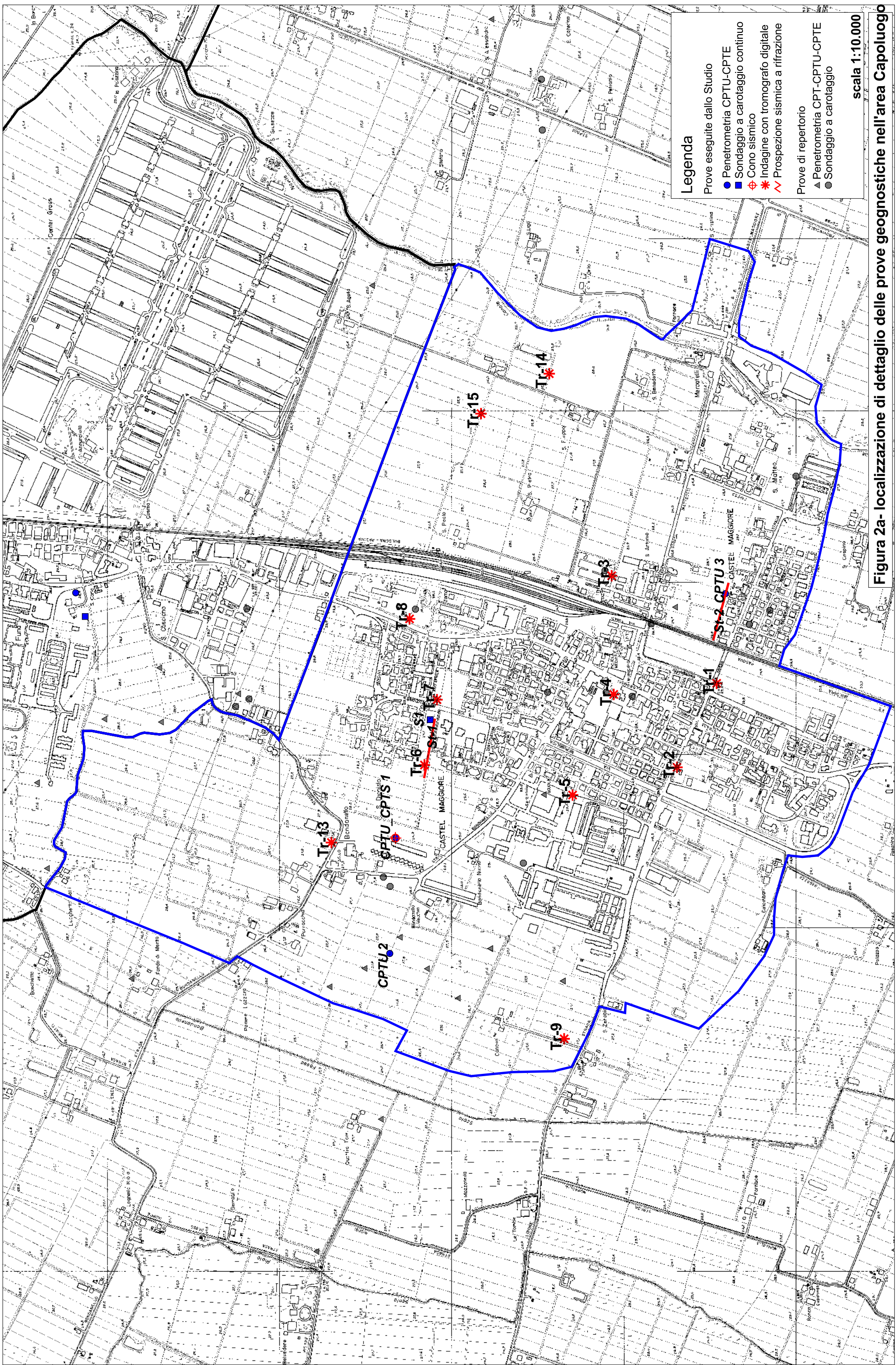
- Penetrometria CPTU-CPTE
- Sondaggio a carotaggio continuo
- ⊕ Cono sismico
- * Indagine con tomografo digitale
- ∨ Prospezione sismica a rifrazione

Prove di repertorio

- ▲ Penetrometria CPT-CPTU-CPTE
- Sondaggio a carotaggio

scala 1:30000

Figura 1- localizzazione dei punti di controllo geognostico



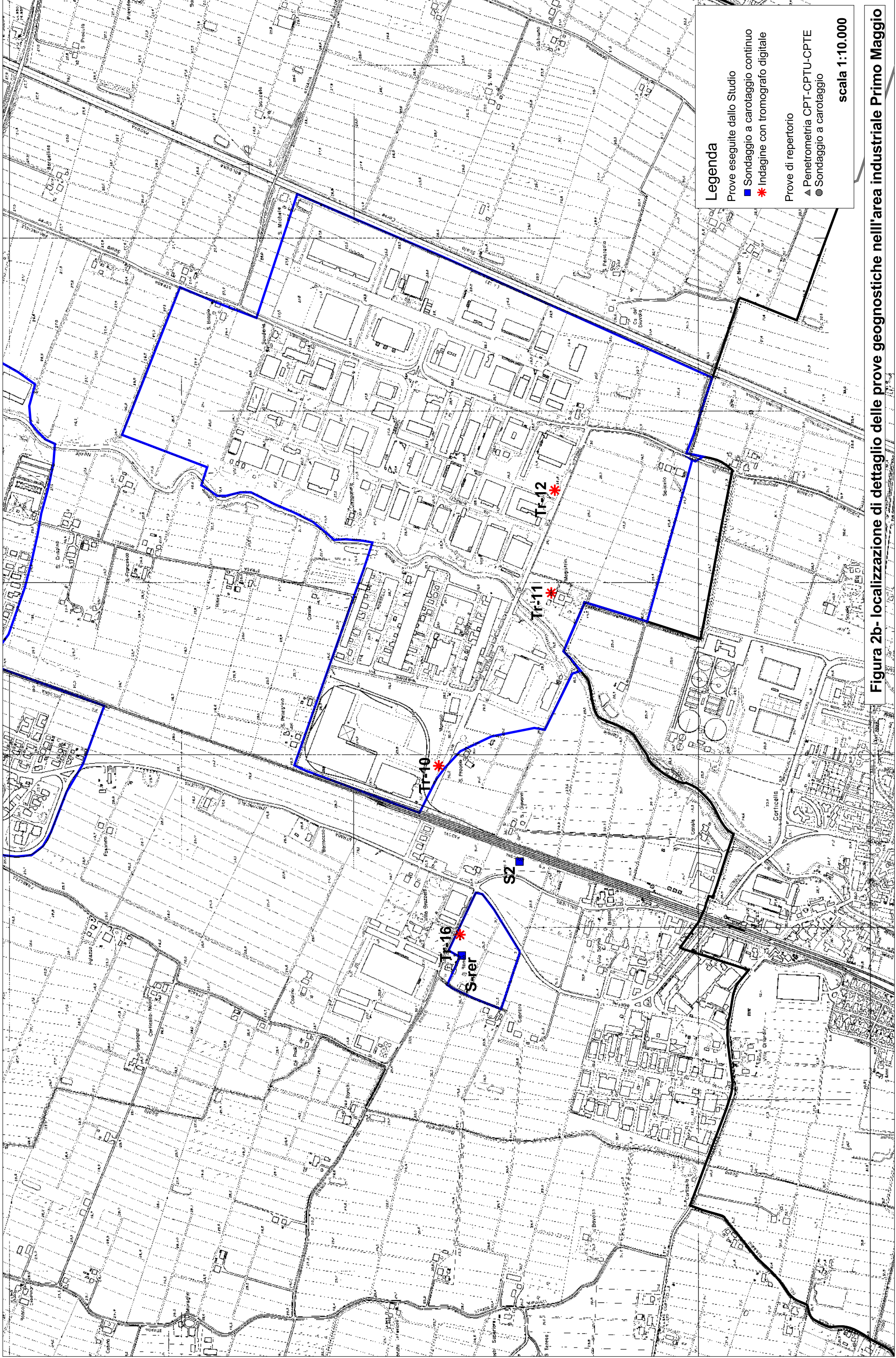
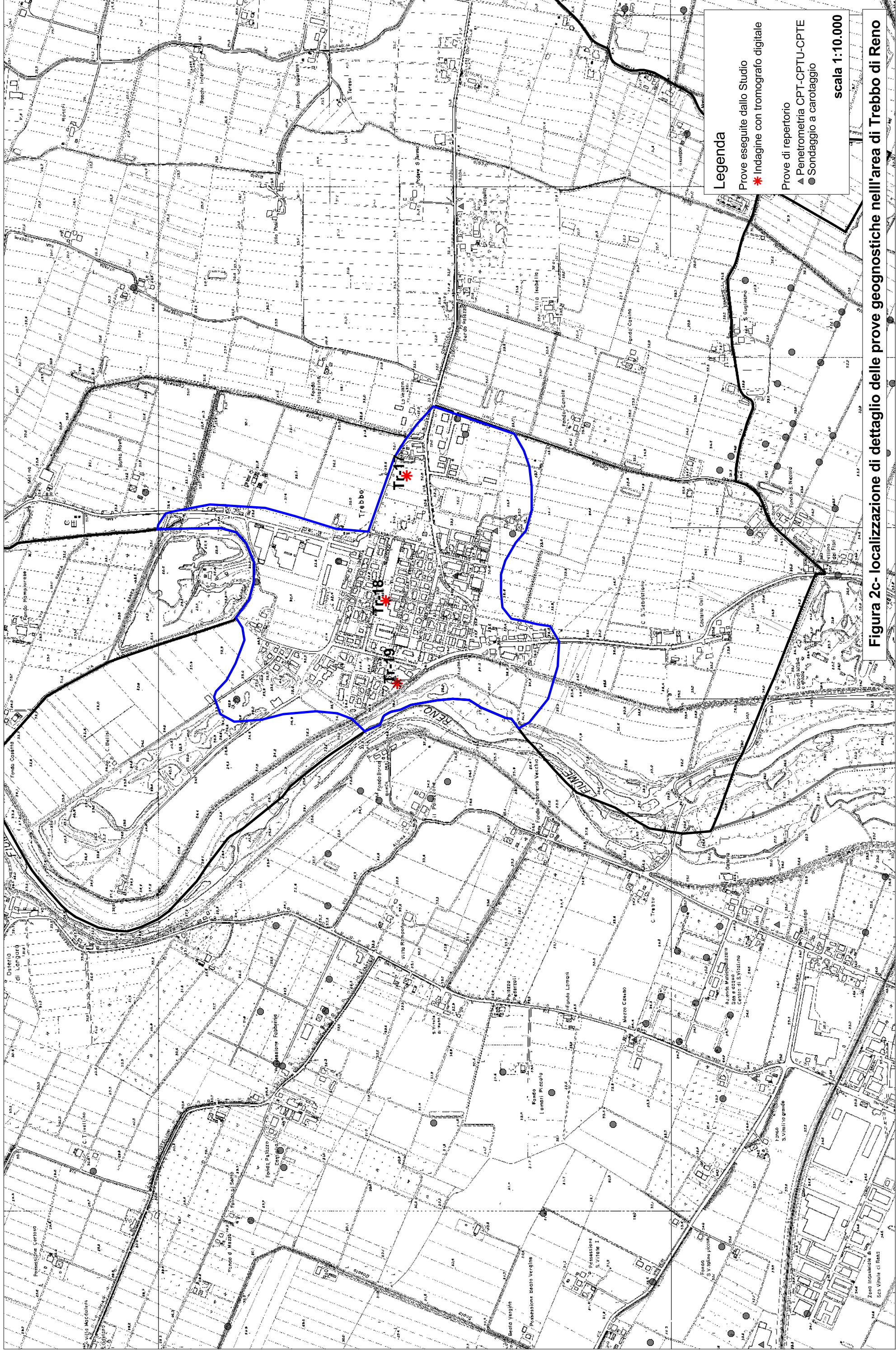


Figura 2b- localizzazione di dettaglio delle prove geognostiche nell'area industriale Primo Maggio



Legenda

Prove eseguite dallo Studio
 * Indagine con tromografo digitale

Prove di repertorio
 ▲ Peneitrometria CPT-CPTU-CPTE
 ● Sondaggio a carotaggio

scala 1:10.000

Figura 2c- localizzazione di dettaglio delle prove geognostiche nell'area di Trebbo di Reno

3. MODELLO DI SOTTOSUOLO E ACQUE SOTTERRANEE

Nel 2003, per l'elaborazione del PS associato, sono stati controllati 40 pozzi freatici nel comune di Castel Maggiore, sul totale di circa 120 noti dal precedente PRGC. Di questi, 9 sono risultati chiusi o inaccessibili e 16 sono stati campionati anche per la definizione della qualità chimica del freatico. La geometria piezometrica ricavata conferma gli andamenti già riscontrati durante gli anni novanta, con poche variazioni:

- presenza di un acquifero (Sup4 e Sup3) formato dall'insieme di paleoalvei sabbiosi del Reno, corrispondente all'allineamento della via Galliera (due corpi porosi pressoché sovrapposti e spesso comunicanti tra loro per uno spessore complessivo di oltre 14 metri, fino a quota -20 metri dal p.c. circa);
- presenza di un acquifero sempre a direzione circa sudovest – nordest, allineato con l'attuale corso del F. Reno. In questo acquifero il campo di moto del freatico è fortemente distorto dai forti prelievi di acque sotterranee operati dai campi pozzi di "Borgo Panigale" e "Tiro a Segno", per maggiori delucidazioni in merito si rimanda alla relazione geologica del QC;
- presenza di un acquifero corrispondente ai paleoalvei del Savena, nella porzione più orientale del Comune;
- il Navile costituisce un importante asse di drenaggio che deforma profondamente le isofreatiche, anche se le trasmissività ricavate da alcune prove nei pozzi presenti in sinistra idrografica, mostrano valori idrodinamici bassi;
- presenza tra Fondo Trebbo e Fondo Lirone di un alto piezometrico, interpretato come presenza di una fuga con apparente ricarica del freatico da parte di una falda sottoposta e localmente confinata. Con probabilità si tratta della Sup2 o Sup1 posta ad almeno - 30 metri dal p.c. che ricarica la Sup4, attraverso una zona di drenanza.

Le connessioni laterali (est-ovest) tra questi acquiferi sono caratterizzate da basse conducibilità e basse trasmissività. Ciò spiega il motivo per cui le distorsioni del campo di moto del freatico in destra Reno, provocate dall'eccessivo prelievo dalle falde profonde, non si risentono nell'acquifero corrispondente alla direttrice Galliera.

Le conoscenze di sottosuolo dimostrano come a profondità superiori ai 30 metri dal p.c. si estenda un acquifero sabbioso-ghiaioso verso nord, corrispondente all'acquifero SUP2, fino circa all'altezza del "Center Gross", almeno nella porzione ovest del Comune.

Al fine di rispondere all'osservazione fatta da ARPA, si è ritenuto di realizzare due sondaggi a carotaggio continuo e la messa in opera di due piezometri del tutto indipendenti:

- il primo (denominato “S1”) collocato nel capoluogo, entro l'acquifero freatico superficiale;
- il secondo (“S2”) collocato più a sud, sempre in prossimità della strada Galliera, ma esterno ai paleoalvei sabbiosi più superficiali, spinto oltre i 32 metri di profondità.

I due sondaggi/piezometri realizzati, sono stati meglio localizzati nelle figure 2, mentre la figura 3 mostra la ricostruzione dei limiti dei principali paleoalvei sepolti, individuati fino a 20 metri circa di profondità dal piano campagna, a profondità maggiori la dispersione dei punti di controllo non consente la ricostruzione di un valido modello di sottosuolo. L'andamento di questi corpi granulari fino a circa 20 metri dal p.c., è stato ricavato dall'insieme delle informazioni di sottosuolo di archivio, affinata grazie agli esiti delle nuove prove geognostiche, e per la superficie dall'interpretazione di foto aeree.

I corpi granulari rilevati 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 non hanno spessore superiore ai 2 metri, i depositi di piena biennale possono avere spessori decimetrici fino a metrici e contenere sporadici ciottoli, per lo più lamellari centimetrici, oppure livelli di ciottoli sempre ben arrotondati.

La presenza di lamine limose che raramente giungono allo spessore di mezzo centimetro, sedimentate in ambiente caratterizzato da regimi di corrente alta (sabbie medie), segna le ricorrenti fasi di piena e decantazione cui erano sottoposte la zone di perialveo non costantemente attive. Il carotaggio continuo ha consentito di rinvenire anche depositi più francamente limoso argillosi con livelli sabbiosi intercalati, potenti oltre un metro, attribuiti ad ambienti di "lanca" o di canale abbandonato. I corpi granulari a cui si è riconosciuta continuità geografica sono:

- “Reno 1”, paleoalvei per lo più sabbiosi variamente sovrapposti ed affiancati, non facilmente distinguibili, presenti nei primi 10 metri di sottosuolo. A volte possono essere presenti livelli con ghiaie e ciottoli;
- “Reno 2”, depositi granulari di alveo a barre braided, rappresentati con buona continuità tra i 10 ed i 20 metri di profondità, spesso ghiaiosi;
- “Reno 3”, comprende l'insieme di paleoalvei sabbiosi del Reno di età basso medioevale. Sono stati rilevati a quote comprese tra i 4 metri circa ed i 10÷11 metri di sottosuolo, con una potenza complessiva di circa 4÷8 metri;

- “Reno 4”, rappresenta paleoalvei sabbiosi più antichi e profondi (di età forse alto medioevale), attribuibili ancora al Reno, potenti circa 8÷12 metri e con letto collocato a circa 20÷22 metri dall'attuale piano campagna;
- “Savena 1”, costituisce l'interpretazione planimetrica dell'insieme di paleoalvei attribuibili con probabilità al Savena, si tratta di depositi sabbioso - limosi con varie proporzioni tra le componenti granulari e fini. Le caratteristiche di questi depositi sono diverse da quelle degli alvei del Reno: in questo caso le minori portate complessive ed anche il diverso bacino montano (per geologia ed ampiezza) non hanno consentito la formazione di strati di spessore superiore al metro di sabbie. Si hanno comunque poche informazioni di sottosuolo relative a questi antichi alvei fluviali.

Reno 3 e Reno 4 sono in gran parte sovrapposti e certamente, a tratti, in comunicazione verticale, tra i due insiemi di alvei, a quote comprese tra 11 e 13 metri circa, sono stati rinvenuti resti di grandi vegetali fluitati (tronchi, spessore di 60 centimetri!). I paleoalvei Reno 1 e 2 differiscono, da quelli su cui sono edificati gran parte del Capoluogo di Castel Maggiore e di Funo, sia per la minore età, sia per le tessiture ghiaiose molto più frequenti.

I paleoalvei che in figura 3 attraversano il Capoluogo sono solamente sabbiosi, raramente si sono rinvenuti livelli con ciottoli dispersi nella matrice sabbiosa. Il grado di addensamento è sempre da modesto a molto scarso. In appendice, vengono riprodotti gli schemi grafici delle due stratigrafie rilevate dai sondaggi, le carote prelevate sono conservate per tutto il 2007, nel magazzino comunale di Castel Maggiore.

Questi corpi granulari costituiscono gli acquiferi principali che distribuiscono le acque sotterranee superficiali alla pianura a nord di Bologna. I sedimenti a tessitura più fine posti sotto i 20 metri dal p.c. separano, nel Comune di Bologna, le falde più superficiali, denominate Sup4 e Sup3 dalle falde più profonde Sup2 e Sup1. Questa ripartizione appare confermata nelle grandi linee anche per il Comune di Castel Maggiore, almeno per i corpi sabbiosi Reno3 e 4, che costituiscono la sede del freatico (Sup4 e Sup3).

Il modello di sottosuolo ricostruito, modifica parzialmente quello già presentato per i primi 10 metri nei Comuni della Direttrice Nord (G. Viel, 1998), ma soprattutto individua gli alvei sepolti a profondità maggiori, ha grande rilevanza anche per gli aspetti relativi alla risposta sismica locale.

In conclusione, la disposizione degli acquiferi e le misure piezometriche ottenute confermano lo schema idrogeologico del Comune di Bologna: nel piezometro “S2” si misurano quote attorno ai 18 metri s.l.m., mentre nel piezometro “S1” sono rilevate quote di 4,20 metri dal p.c., cioè 25,4 m s.l.m. In



tutta l'area del Trebbo permane invece una situazione di estrema variabilità delle quote piezometriche imputabili, con ogni probabilità, al ritmo ed all'entità dei prelievi stagionali effettuati dai campi pozzi HERA di Borgo Panigale e Tiro a Segno, e dai numerosi pozzi ad uso agricolo ed industriale che sollevano le acque sotterranee degli acquiferi del conoide Reno.

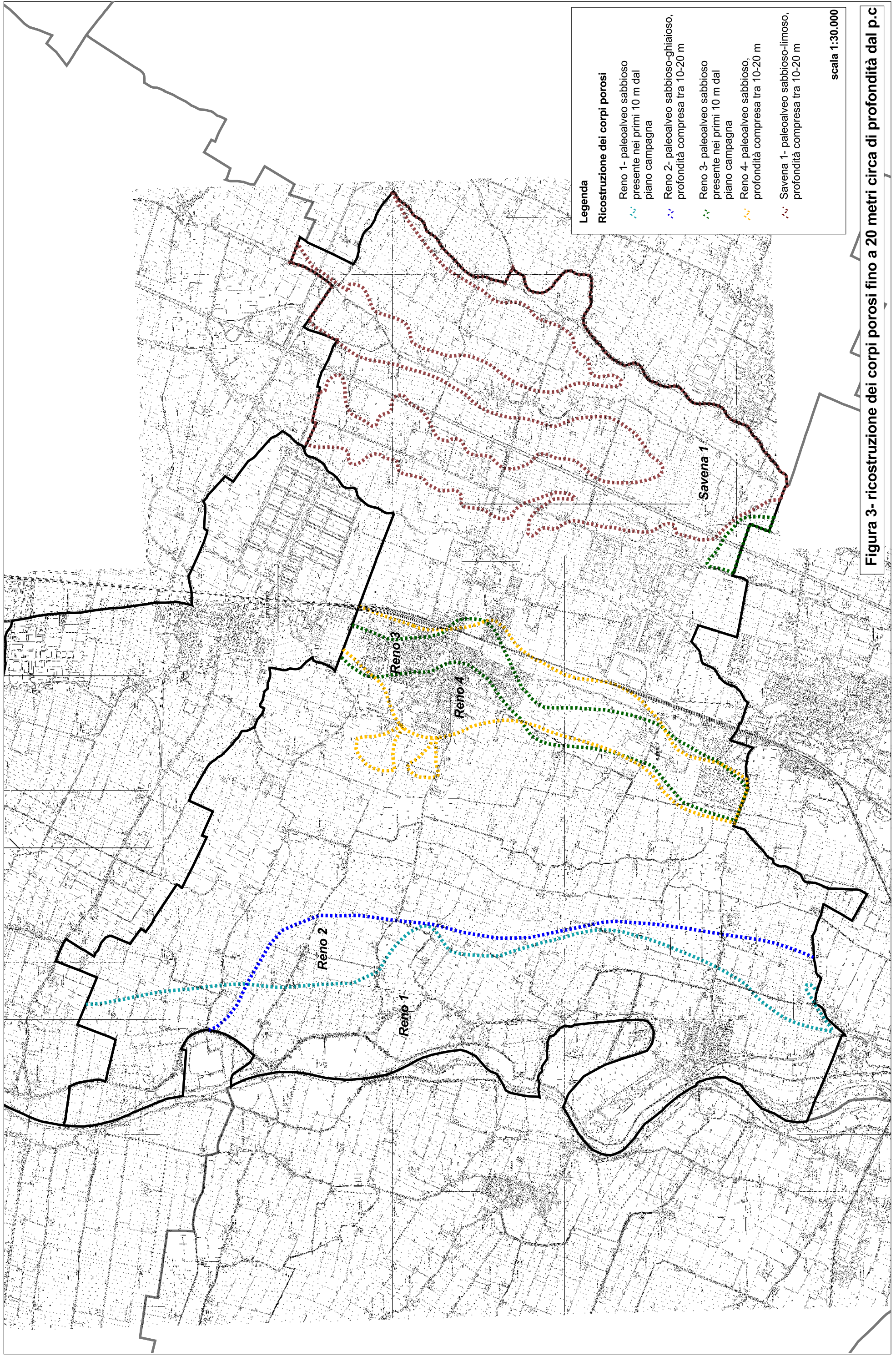


Figura 3- ricostruzione dei corpi porosi fino a 20 metri circa di profondità dai p.c

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 ag, 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_{s30} , 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	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi	> 800		
B	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	< 800 > 360	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} 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 $V_{s30} > 800$ m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua	< 100		< 20 > 10
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

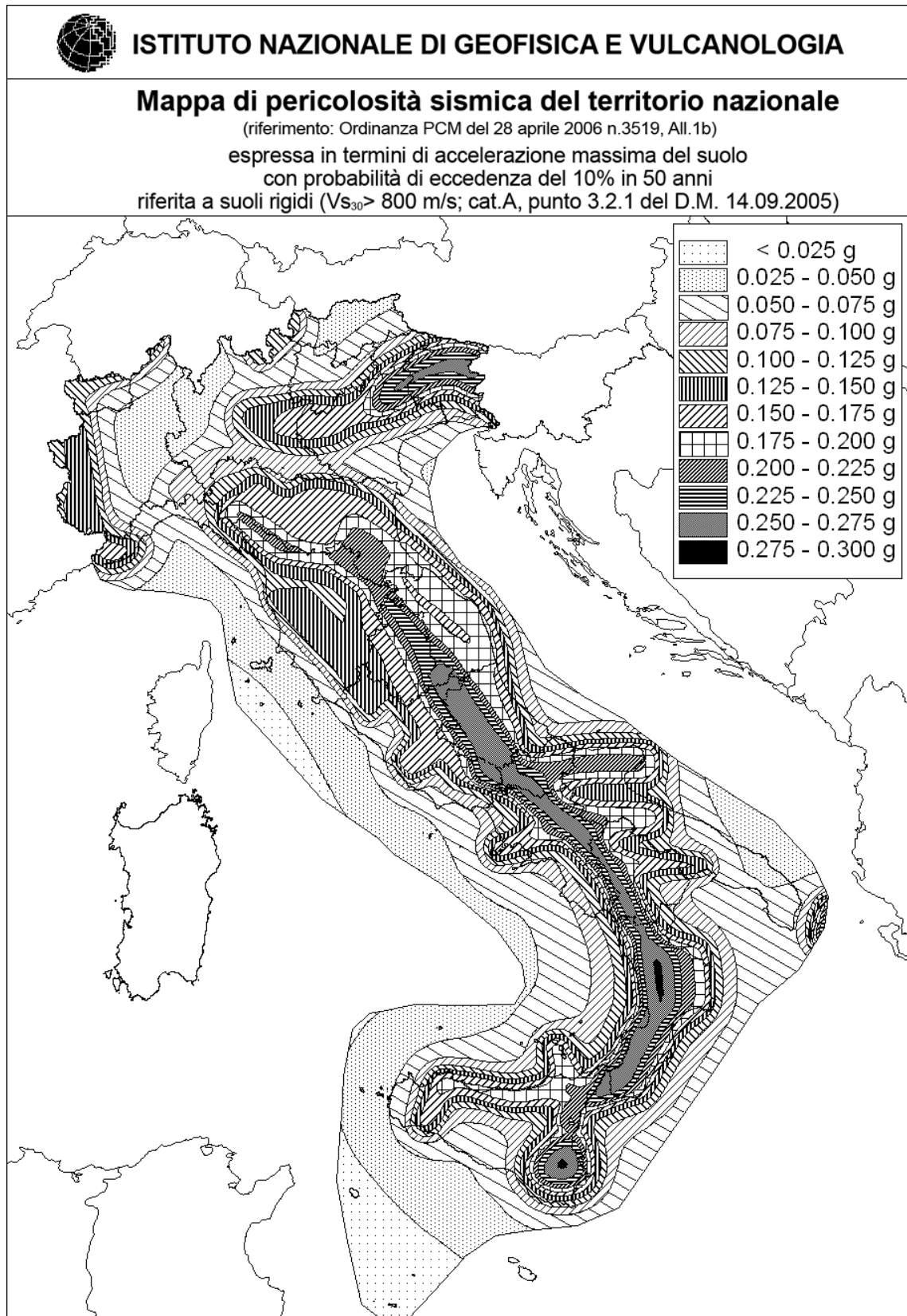


Figura 4.1 – Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale, pubblicata nell'Ordinanza PCM. n.3519/2006

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/liquefazione, 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/PGA₀ e SI/SI₀.

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 Castel Maggiore.

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 Castel Maggiore 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, ed effettuati nel Comune di Bologna, Castel Maggiore 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"). Per questo motivo, le problematiche legate alla liquefazione/densificazione dei sedimenti saturi sono state affrontate fino al terzo e più raffinato livello di conoscenza, per verificare la generale pericolosità riferibile ai sismi di progetto attesi (vedi § 4.4).

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.

La qualità delle informazioni di sottosuolo acquisite per questo lavoro, ha consentito l'elaborazione di due "colonne" di risposta sismica, ottenute con l'algoritmo di calcolo monodimensionale SHAKE 2000. Gli esiti di questa ulteriore simulazione, sovradimensionata per l'attuale fase di pianificazione, ancora preliminare, vogliono soltanto fornire un supporto conoscitivo per definire il grado di approfondimento da raggiungere nella caratterizzazione sismica delle

aree di previsione, che saranno oggetto dei futuri POC. Questi dati potranno quindi essere integrati con le informazioni più locali e fornire un concreto ausilio all'interpretazione.

4.3 Verifica monodimensionale dell'amplificazione locale

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software Shake2000 (Ordonez, 2003); questo rappresenta l'evoluzione dei codici di calcolo SHAKE (Schnabel, Lysmer & Seed, 1972) e SHAKE91 (Idriss & Sun, 1982). Si sono così elaborati i seguenti due modelli di risposta sismica:

- 1) via Bondanello (vedi figure 4.3);
- 2) via Chiesa (figure 4.4)

Shake2000 è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

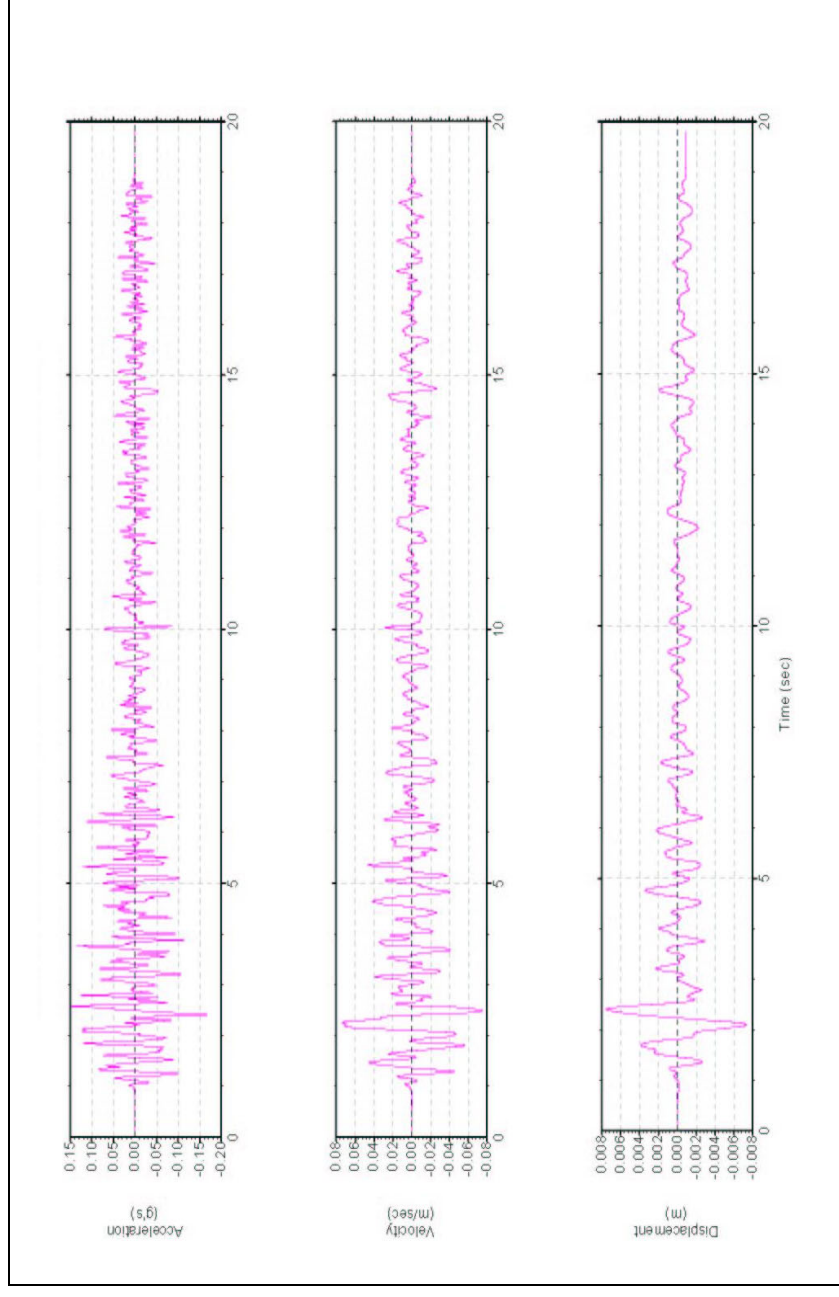
La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di Shake si compone di due fasi: elaborazione del modello, simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nell'inserire i 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 sono già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto (riprodotti in figura 4.2):

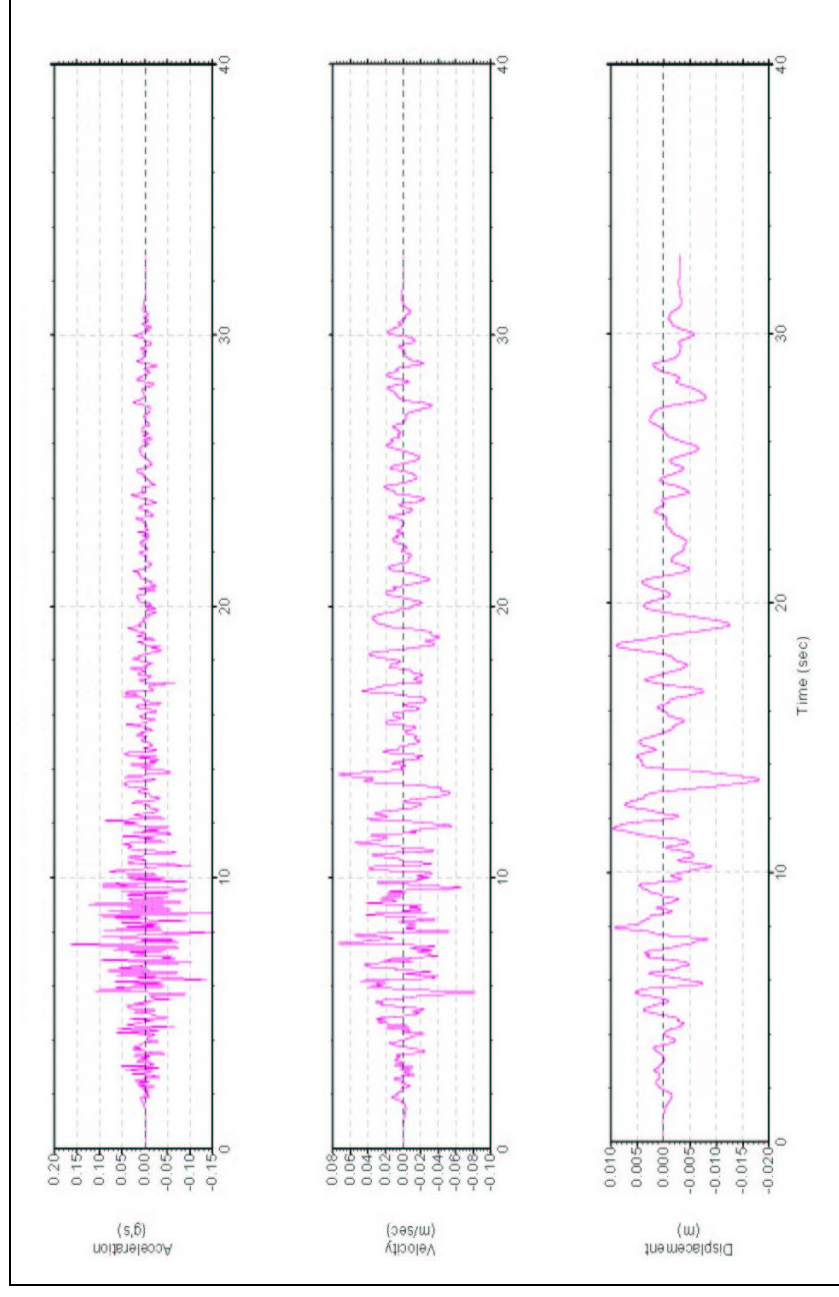
- 1) impulsivo;
- 2) con ampio contenuto in frequenze;
- 3) con componente predominante alle alte frequenze.

Dopo aver determinato gli input sismici, è necessaria la costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento (figure 4.3a e 4.4a), rappresentata da strati (*layer*) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (V_s). La stratigrafia che caratterizza il modello deriva per i primi 30 m da prove dirette ed indirette, quali sondaggi, prove penetrometriche e geofisiche; mentre per ciò che concerne l'intervallo più profondo delle conoscenze dirette (> 30 m), la stratigrafia viene estrapolata dai sondaggi provenienti dall'archivio dello Studio scrivente, e dall'archivio della RER.

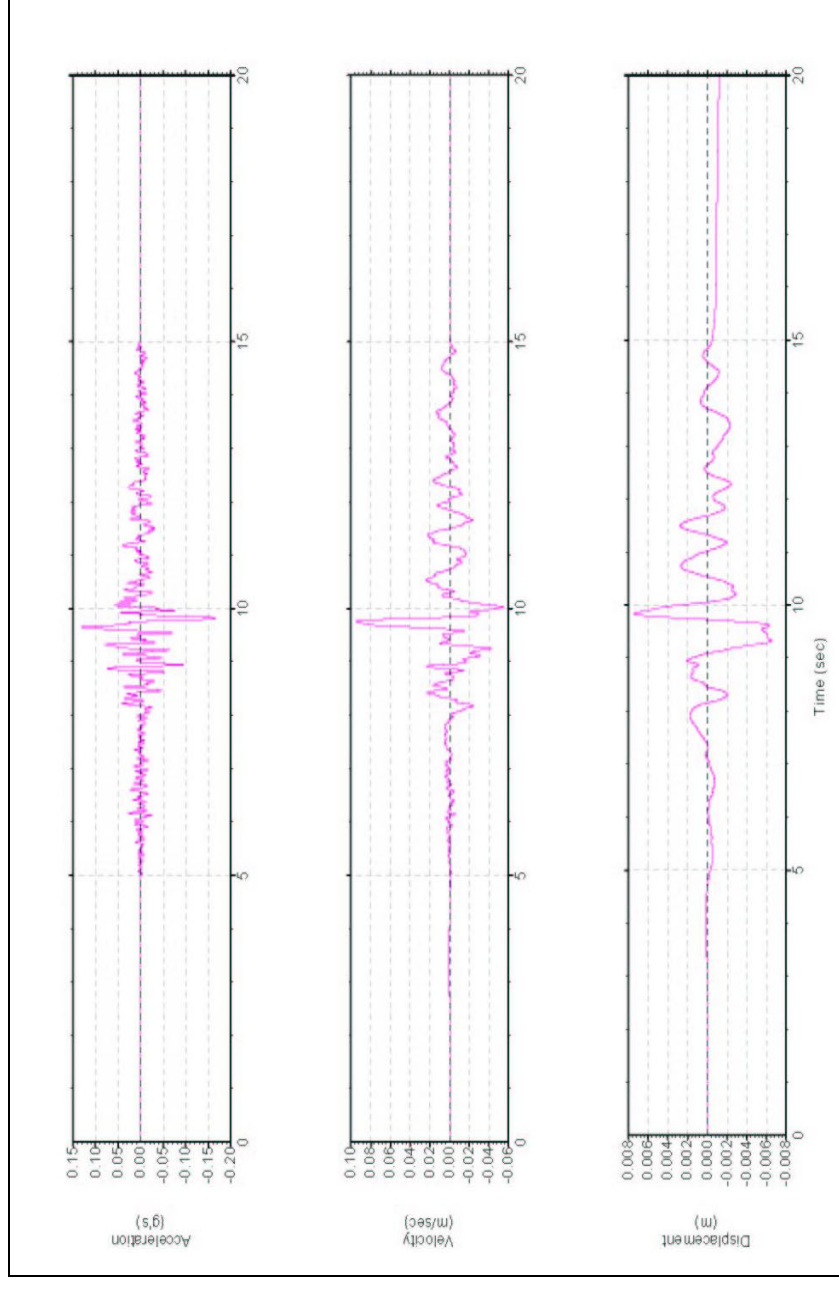
COMUNE DI CASTEL MAGGIORE



**Schema relativo all'accelerazione, velocità, spostamento relativo all'input
000046-037019**



Schema relativo all'accelerazione, velocità e spostamento riferiti all'input 000354 – 037019



**Schema relativo all'accelerazione, velocità, spostamento relativo all'input
000126-037019**

Figura 4.2: Segnali di riferimento relativi al Comune di Castel Maggiore

COMUNE DI CASTEL MAGGIORE

Via Bondanello

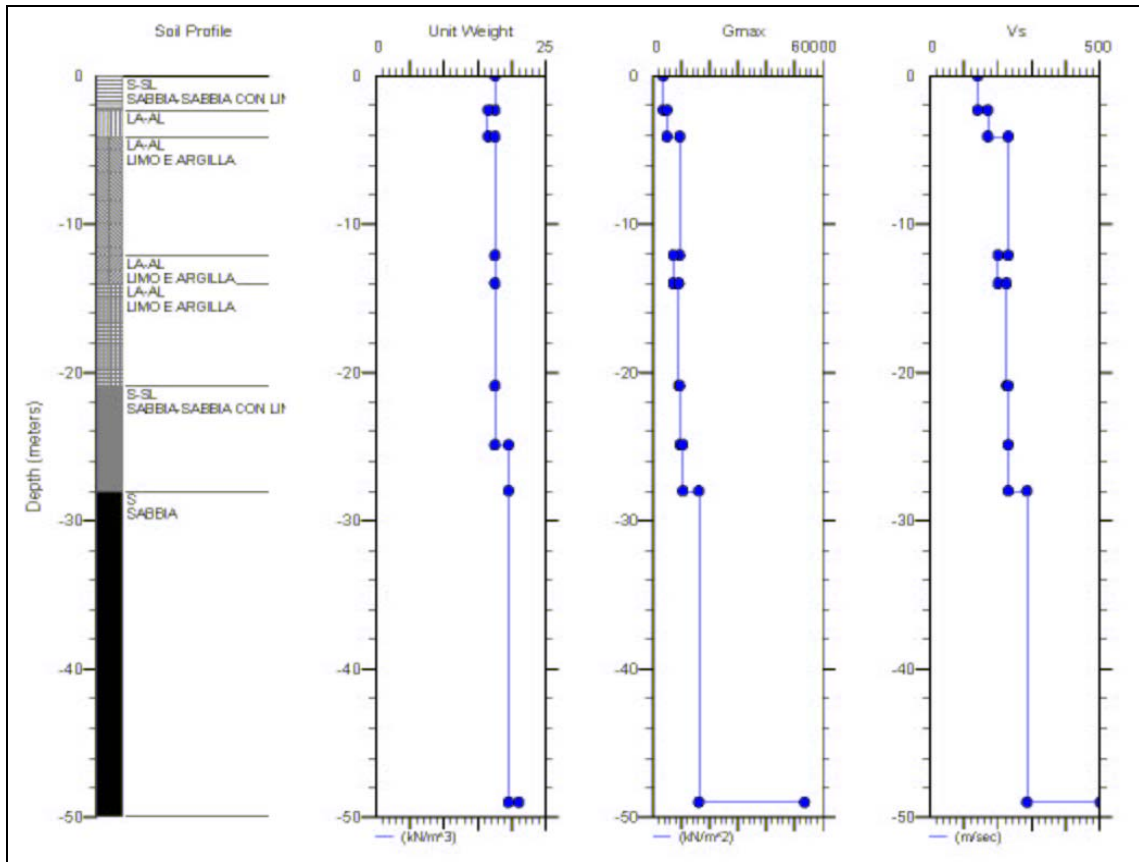


Figura 4.3a stratigrafia di riferimento schematica utilizzata per la modellazione sismica

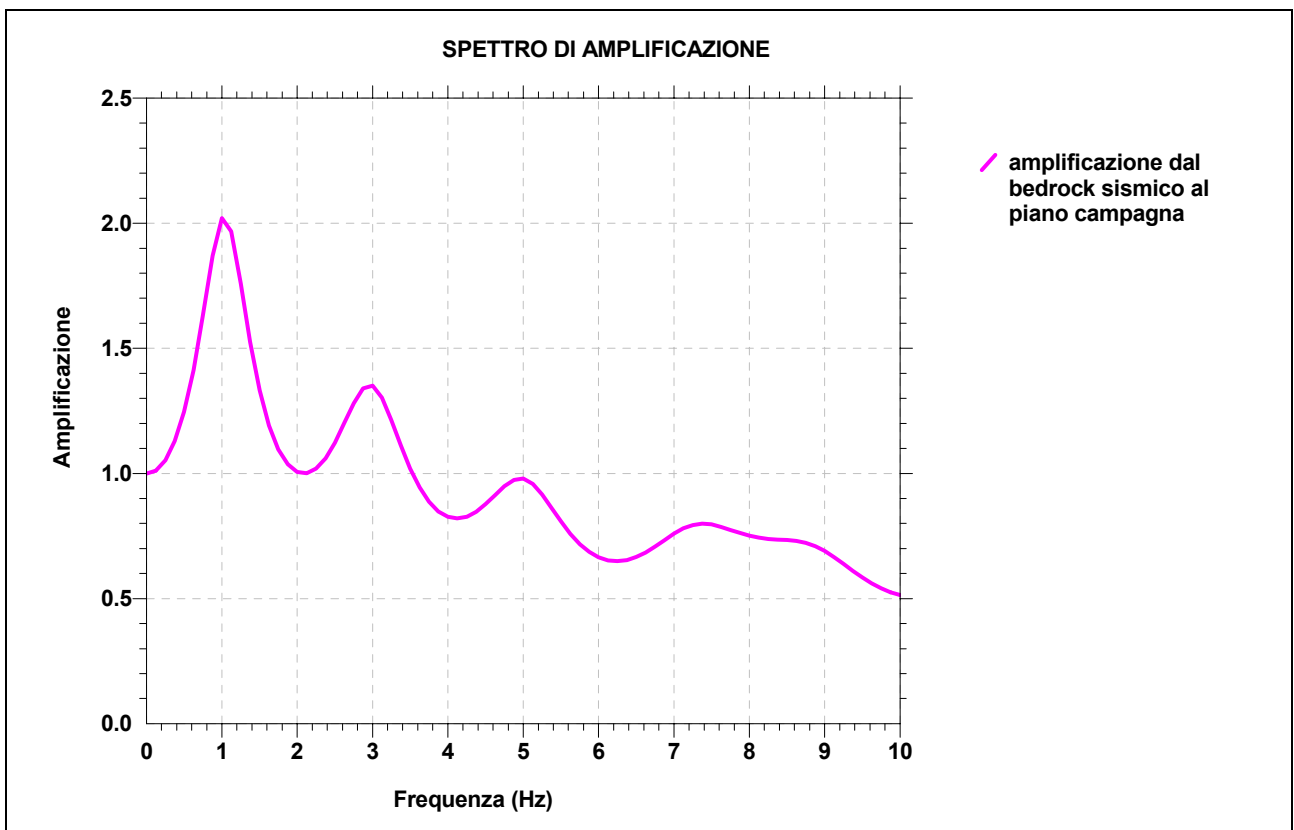


Figura 4.3b Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo tutta la colonna litologica tipo

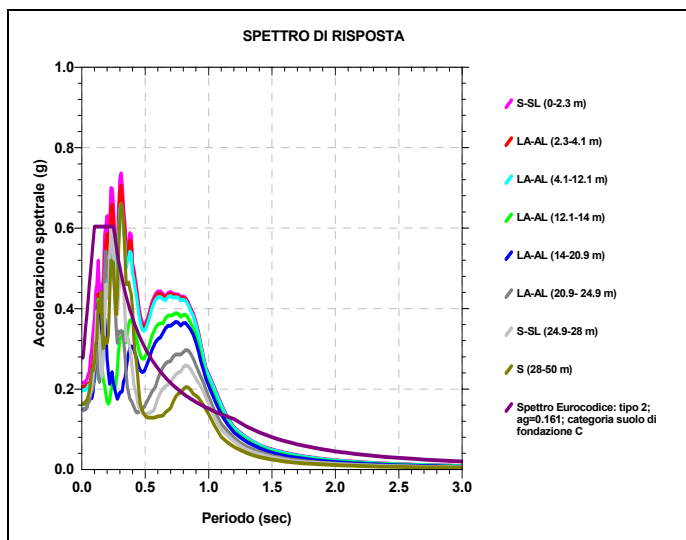


Figura 4.3c Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000046

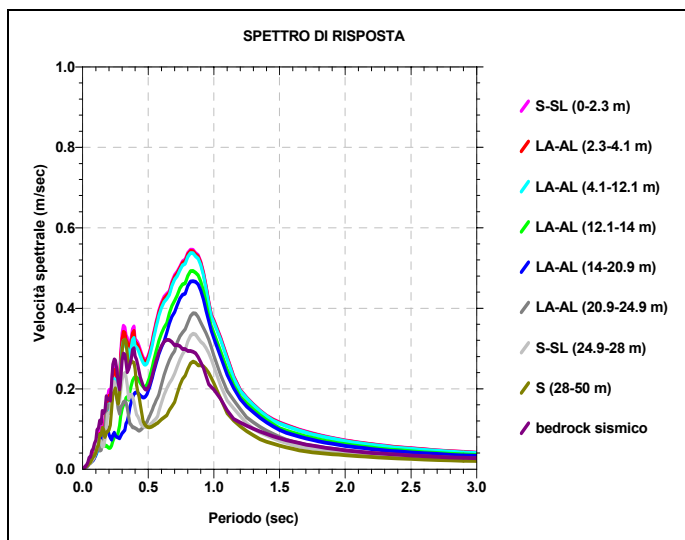


Figura 4.3c Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000046

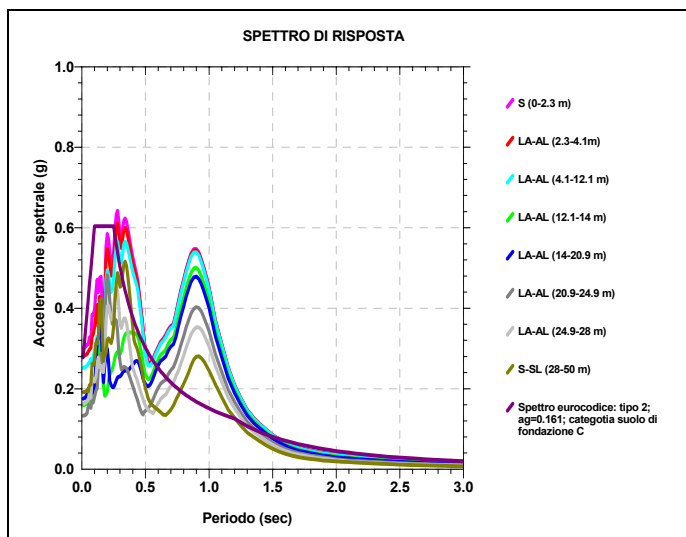


Figura 4.3d Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000126

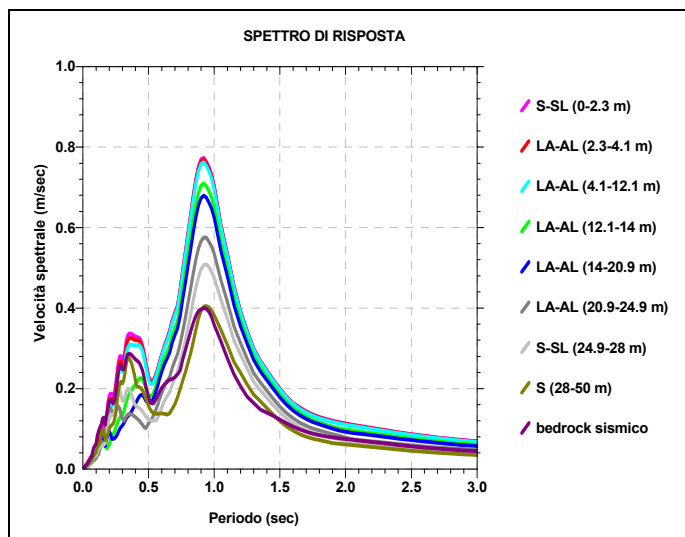


Figura 4.3e Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000126

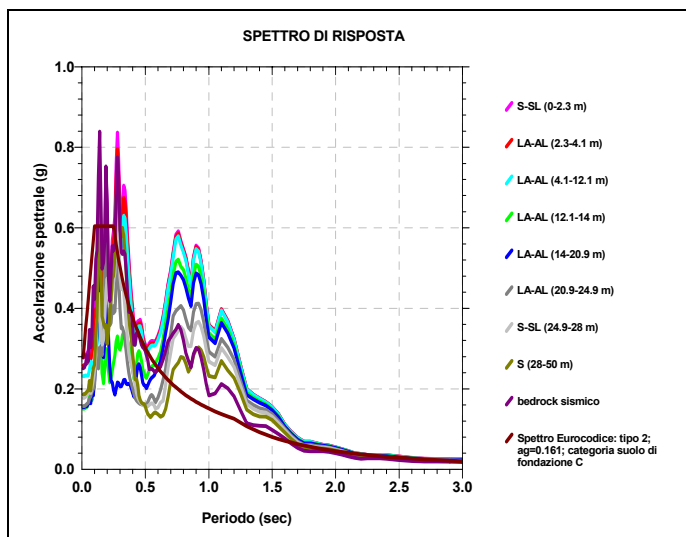


Figura 4.3f Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8- INPUT 000354

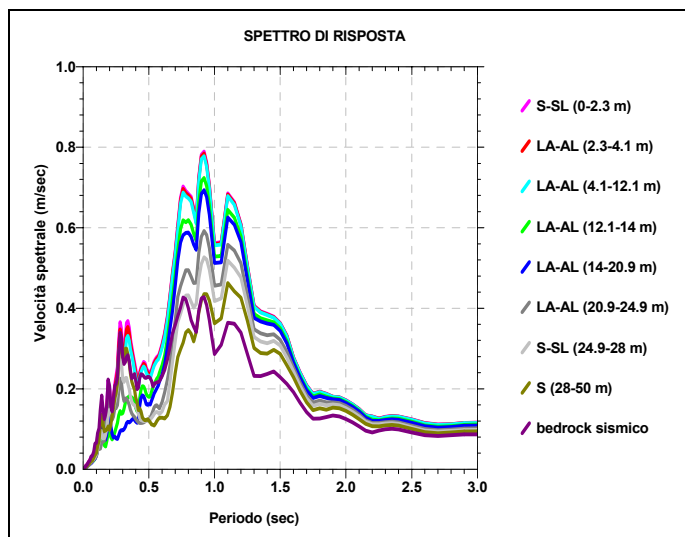


Figura 4.3g Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000354

COMUNE DI CASTEL MAGGIORE

Via Chiesa

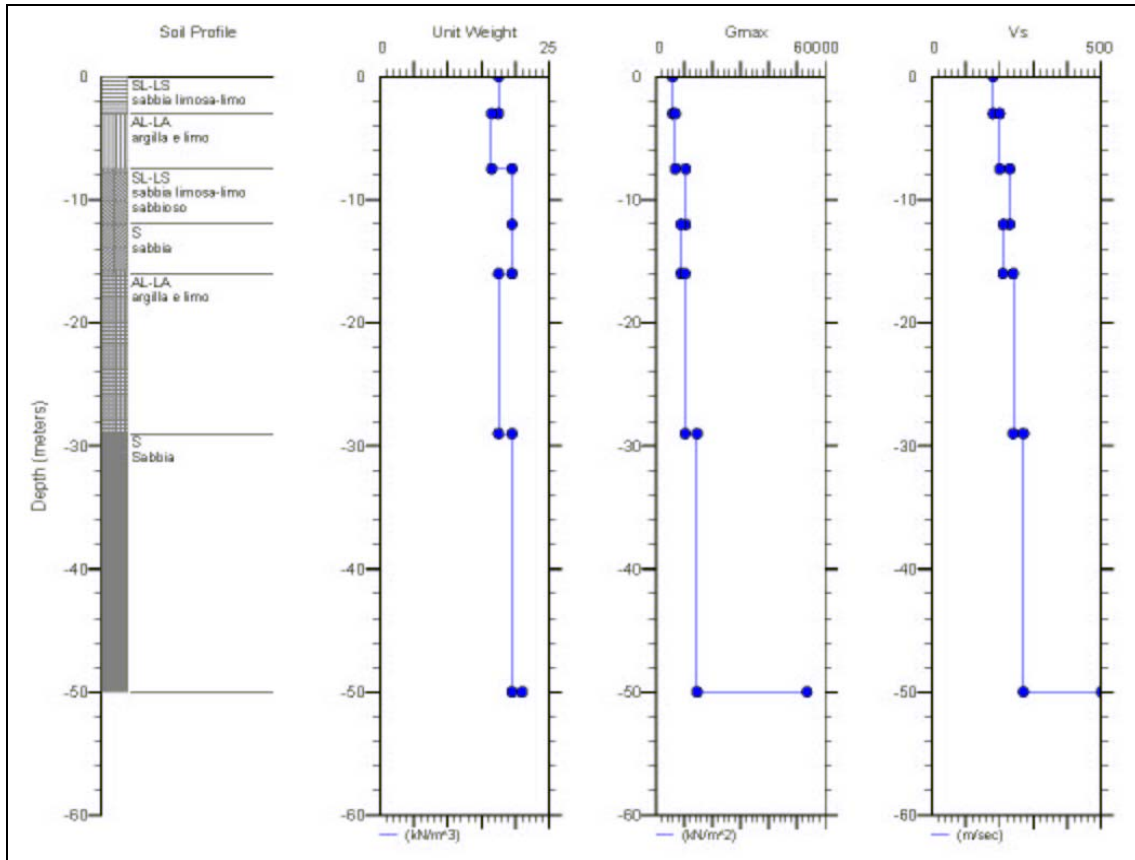


Figura 4.4a - Stratigrafia di riferimento schematica utilizzata per la modellazione sismica

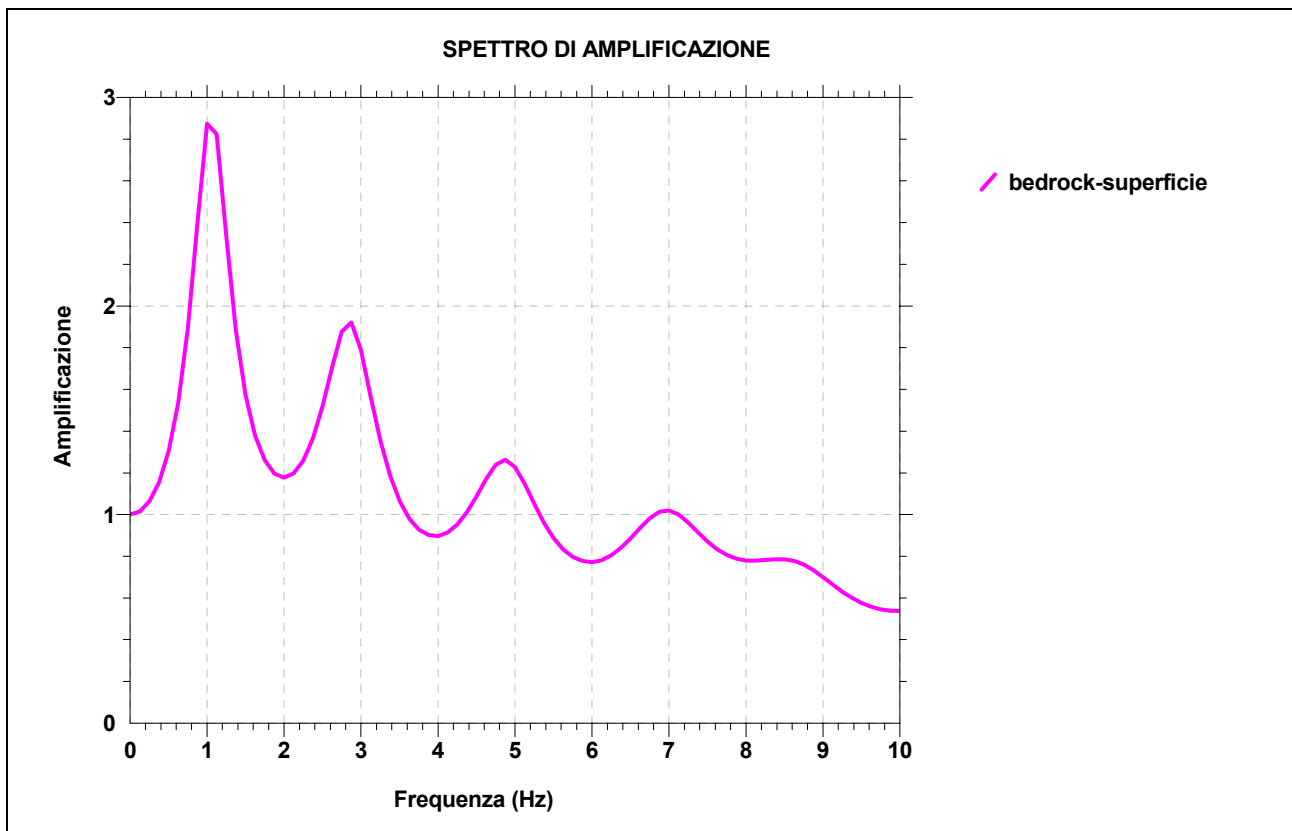


Figura 4.4b - Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del sisma lungo tutta la colonna litologica tipo

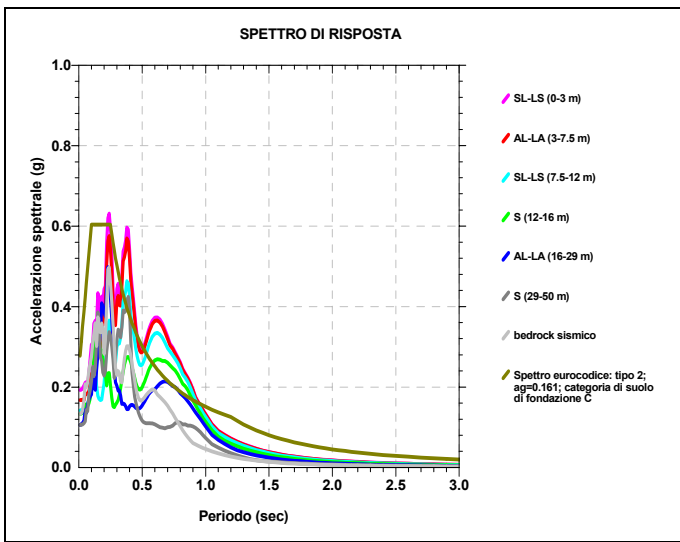


Figura 4.4c - Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto eurocodice EC8 - INPUT 000046

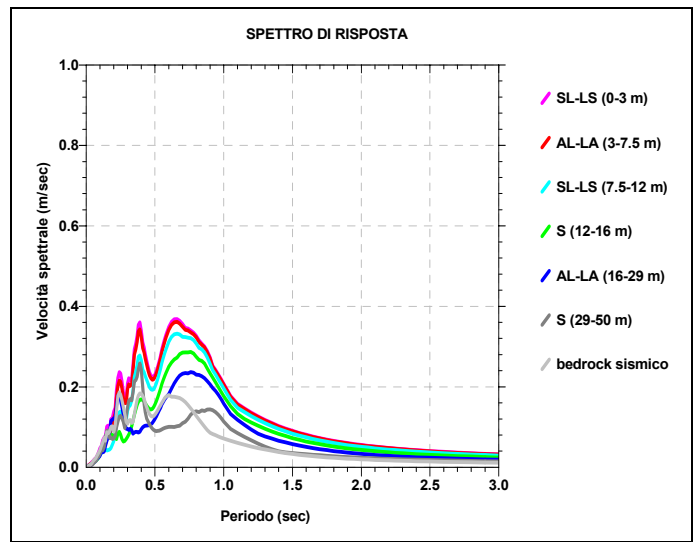


Figura 4.4d - Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000046

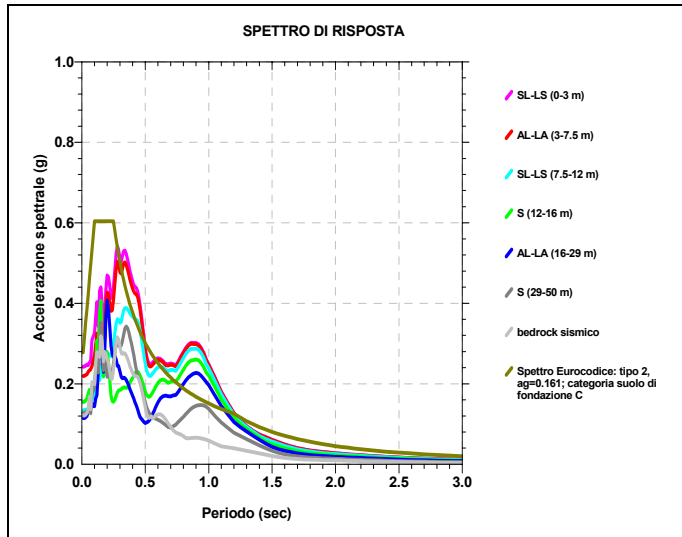


Figura 4.4e - Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto eurocodice EC8 - INPUT 000046

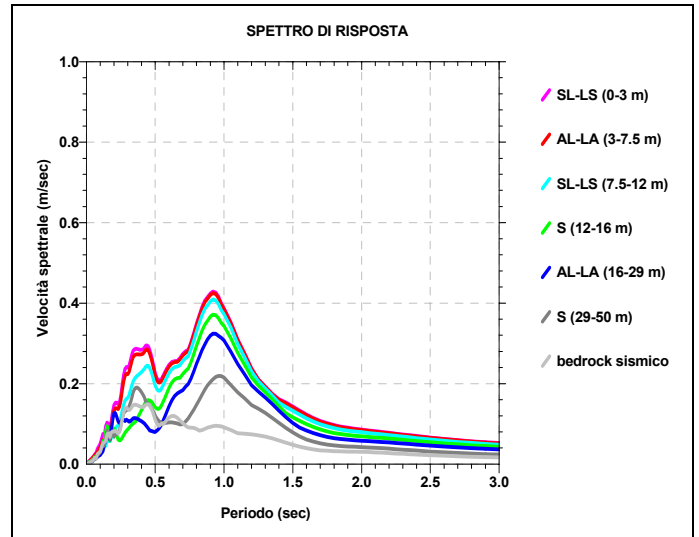


Figura 4.4f - Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000126

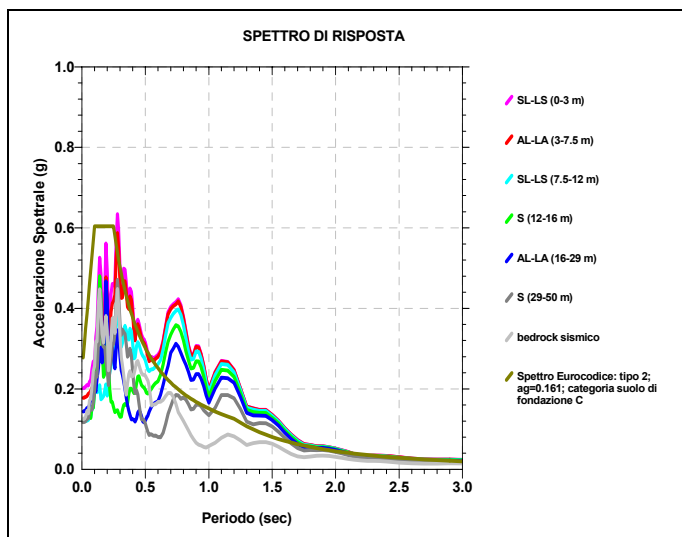


Figura 4.4g - Spettro di risposta relativo alla pseudoaccelerazione PSA, confronto con spettro Eurocodice EC-8 - INPUT 000354

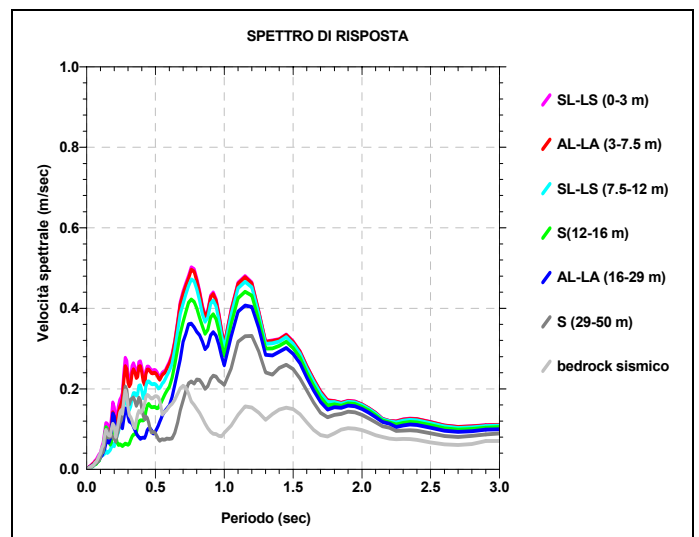


Figura 4.4h - Spettro di risposta relativo alla pseudovelocità, PSV - INPUT 000354

Per il primo modello numerico di risposta sismica (via Bondanello) sono stati imposti 6 differenti litotipi:

- 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;
- sabbia con densità relativa intermedia;
- sabbia con minore densità relativa;
- sabbia e/o ghiaia utilizzata per rappresentare il bedrock sismico.

Per il secondo modello (via Chiesa) sono stati invece imposti 5 differenti litotipi:

- argilla con indice di plasticità compreso tra 10-20;
- argilla con indice di plasticità compreso tra 20-40;
- sabbia soggetta al fenomeno di liquefazione;
- sabbia con maggiore densità relativa;
- ghiaia utilizzata per rappresentare il bedrock sismico.

Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (V_s) ai differenti *layer* costituenti la colonna litologica schematica, nell'intervallo 0-30 m vengono utilizzati i risultati derivanti da prove CPTS, tomografia e tomografia sismica; mentre nell'intervallo più profondo (> 30 m) abbiamo imposto una velocità media relativamente bassa fino ad un livello di "pseudo bedrock" che si è fatto corrispondere ad un corpo ghiaioso relativamente diffuso, in genere presente tra i 50 ed i 60 metri dal p.c.

La seconda fase (elaborazione degli effetti indotti dai sisma di progetto), consente di ottenere tre differenti "spettri di risposta", ognuno dei quali descrive il diverso comportamento di 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, pertanto è opportuno vengano forniti per ogni comparto di espansione.

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 4.3c, 4.3e, 4.3g; 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 1 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 Castel Maggiore, ottenuto implementando la magnitudo ($M=5,5$), categoria di suolo di fondazione C, ed a_g ($0,166g$).

- Il secondo spettro ottenuto riguarda la PSV, ossia la pseudovelocità (figure 4.3d, 4.3f, 4.3h; 4.4d, 4.4f, 4.4h). In questo spettro si 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 secondo e nel terzo livello di pianificazione (delibera n 112 del 2 maggio 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. 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 con Shake2000 (figure 4.3b e 4.4b) risulta che per entrambi i modelli presentati, la frequenza fondamentale assume un valore locale di circa 1 Hz.

Per il primo modello, costruito con le indagini dirette ed indirette effettuate in Via Bondanello, le frequenze naturali individuate sono (figura 4.3b):

$$f_1 = 1 \text{ Hz con F.A.} = 2,00$$

$$f_2 = 3 \text{ Hz con F.A.} = 1,35$$

$$f_3 = 5 \text{ Hz con F.A.} = 0,95$$

Per il secondo modello, ricostruito con i risultati delle indagini dirette e indirette relative alla zona di Via Chiesa, le frequenze naturali evidenziate dalla funzione di amplificazione sono (figura 4.4b):

$$f_1 = 1 \text{ Hz con F.A.} = 2,90$$

$$f_2 = 3 \text{ Hz con F.A.} = 1,95$$

$$f_3 = 5 \text{ Hz con F.A.} = 1,20$$

$$f_4 = 7 \text{ Hz con F.A.} = 1,00$$

I due modelli elaborati possono essere estrapolati, in prima approssimazione, dai contesti paleogeografici ricostruiti: il modello di "via Chiesa" alle aree interessate dai paleoalvei del Reno3 e Reno4 compresi nei primi 20 metri di sottosuolo; il modello di "via Bondanello" al restante territorio, escluse le zone interessate da Reno1 e Reno2. L'estrapolazione dei due modelli di sottosuolo è stata controllata con i risultati ottenuti dal tomografo digitale nei numerosi punti di controllo indicati nelle figure 2a-b-c, i diagrammi relativi sono riportati in appendice. Ovviamente occorrerà verificare in modo più puntuale la reale continuità delle situazioni di sottosuolo con prove dirette, e soprattutto la profondità del bedrock sismico e la distribuzione reale delle Vs in profondità.

Il Trebbo, con la sua particolare situazione stratigrafica (presenza di ghiaie a varie quote) non è riconducibile ai due modelli ricostruiti per il territorio comunale. In questo caso il grado di conoscenze stratigrafiche disponibili consente di determinare solamente una diffusa presenza di corpi granulari posti a varie quote, nei primi 20 metri di sottosuolo.

In assenza di determinazioni dei parametri più specificamente sismici non è possibile elaborare un modello di sottosuolo da utilizzare per simulazioni con gli accelerogrammi di progetto. D'altra parte, l'assenza di comparti di nuova espansione in questa frazione, e nei suoi dintorni, ha sconsigliato dal richiedere un ulteriore impegno economico all'Amministrazione Comunale. Questa scelta è confortata anche dalle condizioni oggettive di sottosuolo: certamente migliori di quelle verificate per i due modelli già visti, come dimostra l'estrapolazione delle Vs, che fornisce i valori più elevati al Trebbo. La conseguente applicazione delle tabelle della citata delibera regionale fornisce valori di amplificazione leggermente più bassi rispetto a quelli degli altri insediamenti.

L'elaborazione di uno specifico modello di sottosuolo sarà ovviamente obbligatoria nel momento in cui si deciderà di realizzare un POC o PUA nell'area del Trebbo.

4.4 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.

La valutazione dell'evento sismico atteso è discussa nel §4.3. Le caratteristiche del sottosuolo sono state studiate in località che si sono ritenute rappresentative del contesto territoriale del Comune, ed estrapolabili, come emerge dalle ricostruzioni effettuate in base alle prove geognostiche d'archivio (si vedano anche le schede allegate alla carta di zonizzazione di primo livello del PSC Associato). 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 occorre un laborioso rilevamento dell'edificato.

4.4.1 Indagini geognostiche in situ

Le misure di resistenza alla punta normalizzate, ottenute dalle prove penetrometriche CPTU, consentono di ottenere indirettamente una prima stima della possibile liquefazione dei sedimenti saturi sottoposti ad impulsi ciclici. Per questa stima si è ricorsi alle diagrammazioni 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, 4.5c rappresentano, l'esito della proiezione ottenuta con i dati meccanici relativi rispettivamente, alle CPTU1, CPTU2, 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 tre 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.

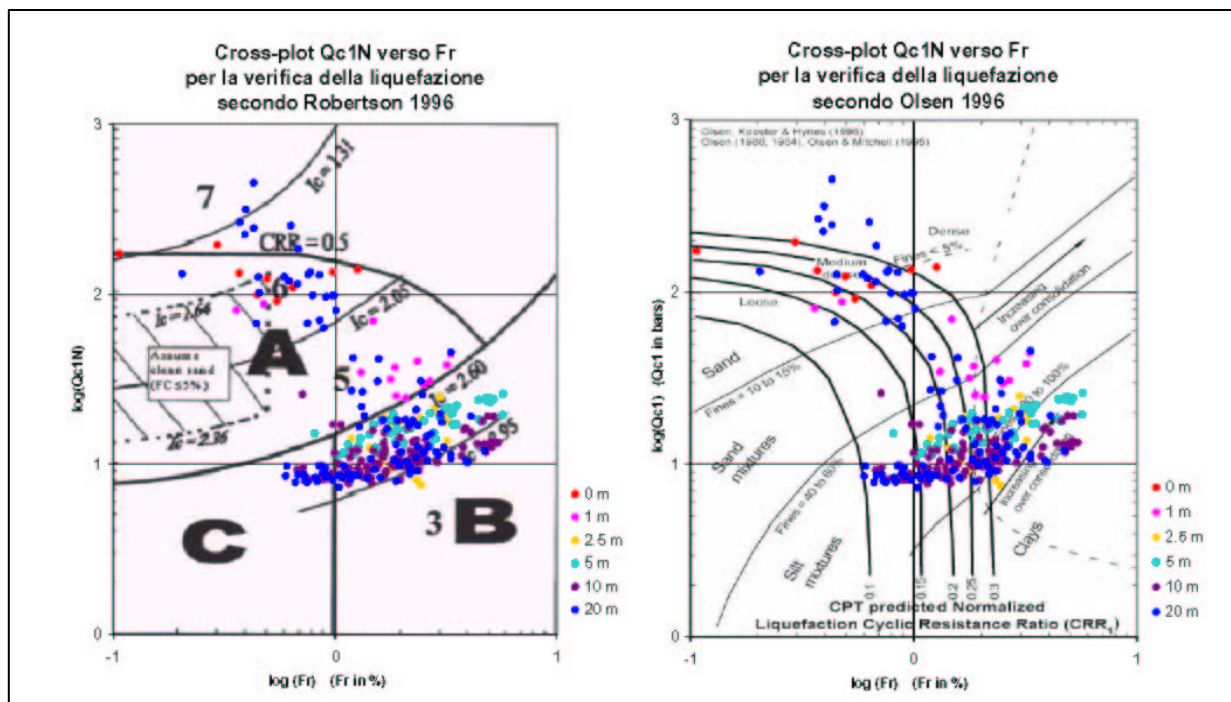


Fig. 4.5a - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU1 nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD.

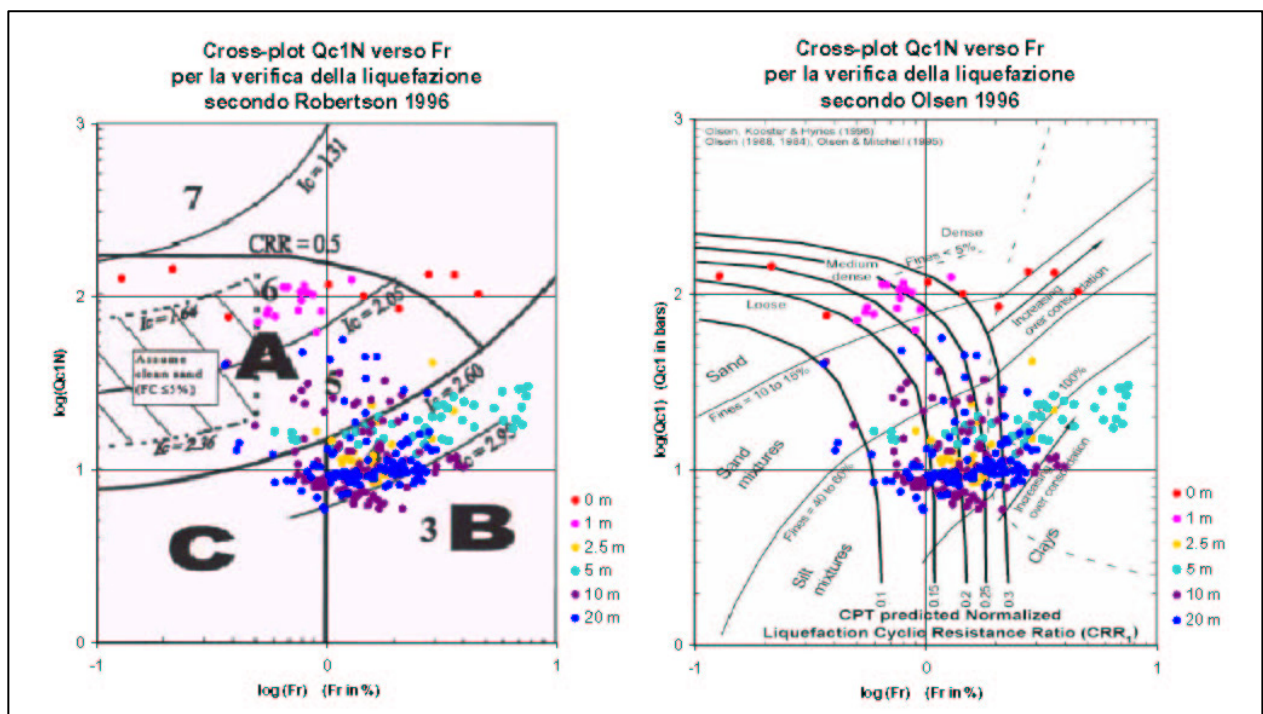


Fig. 4.5b - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU2 nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD.

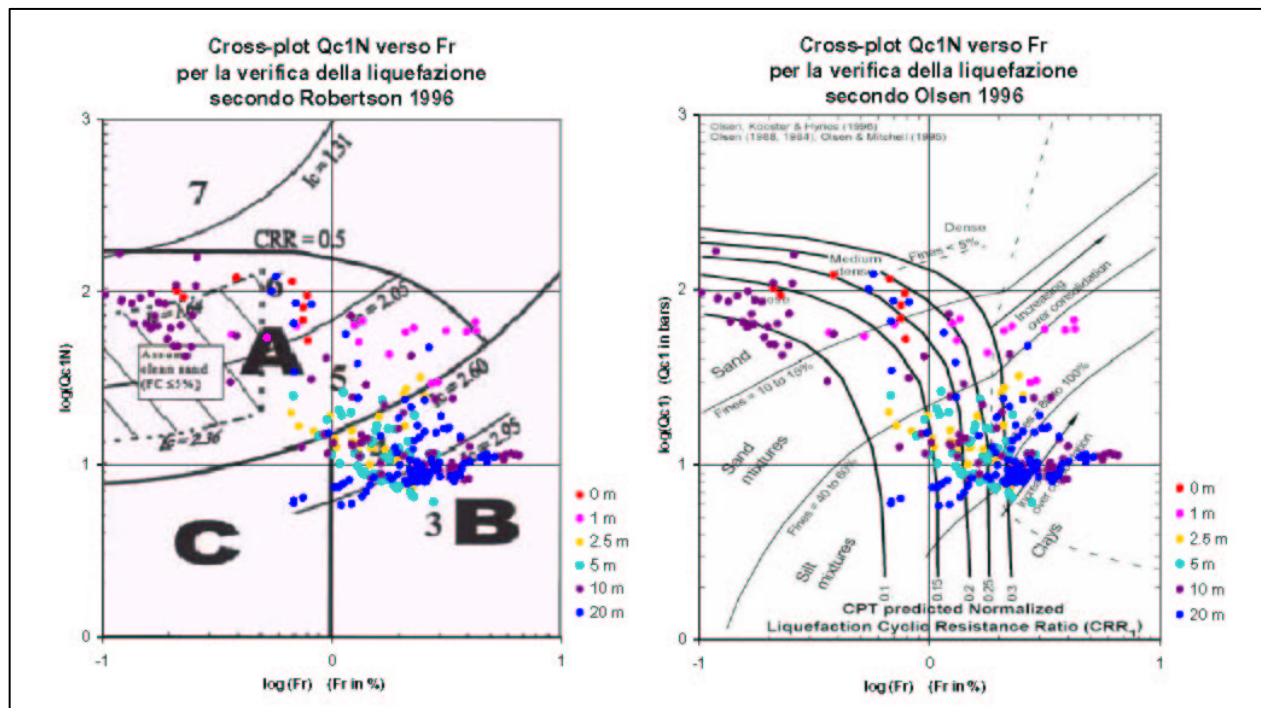


Fig. 4.5c - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU3 nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD.

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 si nota immediatamente che la distribuzione dei punti plottati si concentra nel campo "B" e che i 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 4 metri non liquefacibili). In sostanza la CPTU1 rappresenta sedimenti con scarsi o ininfluenti effetti di liquefazione.

Gli esiti ottenuti con la CPTU2 sono simili a quelli precedenti, strati di spessore superiore al metro di sabbie più o meno limose tra i 17 ed i 20 metri ed ancora oltre i 23 metri, presentano una probabile propensione alla liquefazione, ma le profondità sono tali da non destare alcuna preoccupazione geotecnica per gli edifici esistenti ed eventualmente per quelli di progetto.

I dati meccanici ricavati dalla penetrometria CPTU3 dimostrano invece la presenza di possibile liquefazione nei sedimenti di profondità inferiore a 5 e

compresi tra 10 e 20 metri, oltre ai punti rappresentativi degli strati più superficiali ed insaturi. Il campo "A" in questo caso comprende molti punti e di profondità tale da destare serie preoccupazioni. L'osservazione attenta dei dati penetrometrici, riportati in forma grafica in appendice, consente di verificare che si tratta degli strati sabbiosi sottili disposti tra i 7 ed i 12 metri, e soprattutto dell'intervallo sabbioso tra 12 e 17 metri. L'analisi indiretta indica dunque che si tratta di sabbie con propensione alla liquefazione se sottoposte ad impulsi ciclici.

In realtà la lettura della prospezione sismica a rifrazione (St-2) combinata alla CPTU3, consente di individuare la presenza di più alvei del Reno sovrapposti, già altrove rilevati con la prospezione St-1 ed attraversati con il sondaggio S1. Importante sottolineare che si tratta del medesimo ambito fluviale, individuato in due posizioni diverse: sponda sinistra con la St-1, sponda destra con la St-2 (vedi figura 3).

Una valutazione più completa della probabilità di liquefazione degli intervalli sabbiosi saturi attraversati, eseguita secondo le linee guida AGI 2005, in cui il calcolo del CRR (Cyclic resistance ratio) è integrato assieme al CSR (Cyclic stress ratio) nella stima dell'indice del potenziale di liquefazione " I_L " (Iwasaki et al., 1982). A questo scopo i parametri utilizzati sono: " I_c ", fattore correttivo " K_c " (K_f per gli strati sottili di sabbia in argille), CRR (per magnitudo=7,5), CSR (per magnitudo locale=5,5) lungo la verticale. Gli algoritmi utilizzati sono quelli riportati nella stessa guida AGI, i dati da inserire sono riportati nell'allegato CD.

Il calcolo richiede anche l'inserimento dei fondamentali dati del terremoto di progetto locale, cioè dell'evento atteso localmente in relazione alla serie storica: l'amplificazione topografica è ovviamente eguale all'unità, la magnitudine attesa per il bolognese è pari a 5,5, la categoria di suolo è stata valutata "C", a_{max}/g al suolo = 0,249; ed al substrato = 0,166 (delibera regionale); fattore amplificazione = 1,5 (delibera regionale); l'intervallo saturo considerato cautelativamente alla profondità di 3,9 metri.

L'esito ottenuto fornisce un indice del potenziale di liquefazione (AGI, 2005, pagina 105) $I_L = 5,4$. Questo valore dell'indice è al limite basso della <pericolosità elevata per le strutture>.

Queste conclusioni reative solo a CPTU3, ma estrapolabili anche alle linee di prospezione St-1 ed St-2, e le considerazioni fatte sui fusi granulometrici delle sabbie ricavate da paleoalvei del Reno tra Bologna e Funo, convergono nel far ritenere che i paleolavei del Reno di figura 3 (Reno 3 e Reno 4), sottostanti il Capoluogo e 1° Maggio, abbiano un'alta propensione alla liquefazione.

In conclusione le CPTU1 e CPTU2 non denunciano presenza di possibile liquefazione dei sedimenti attraversati, e costituiscono la situazione

mediamente più rappresentata nel territorio comunale. La CPTU3 denuncia invece la presenza di sedimenti granulari saturi potenzialmente liquefacibili per impulsi ciclici, entro un intervallo di profondità (5 - 15 metri) pericoloso per le strutture con fondazioni superficiali.

4.4.2 Fusi granulometrici

In figura 4.6 è riportato l'involuppo delle curve granulometriche ottenute dalla letteratura, riferite sempre ai medesimi corpi sabbiosi per i Comuni di Castel Maggiore, Argelato ed anche per il Comune di Bologna (figura 5 della relazione geologica del PSC Associato Reno Galliera).

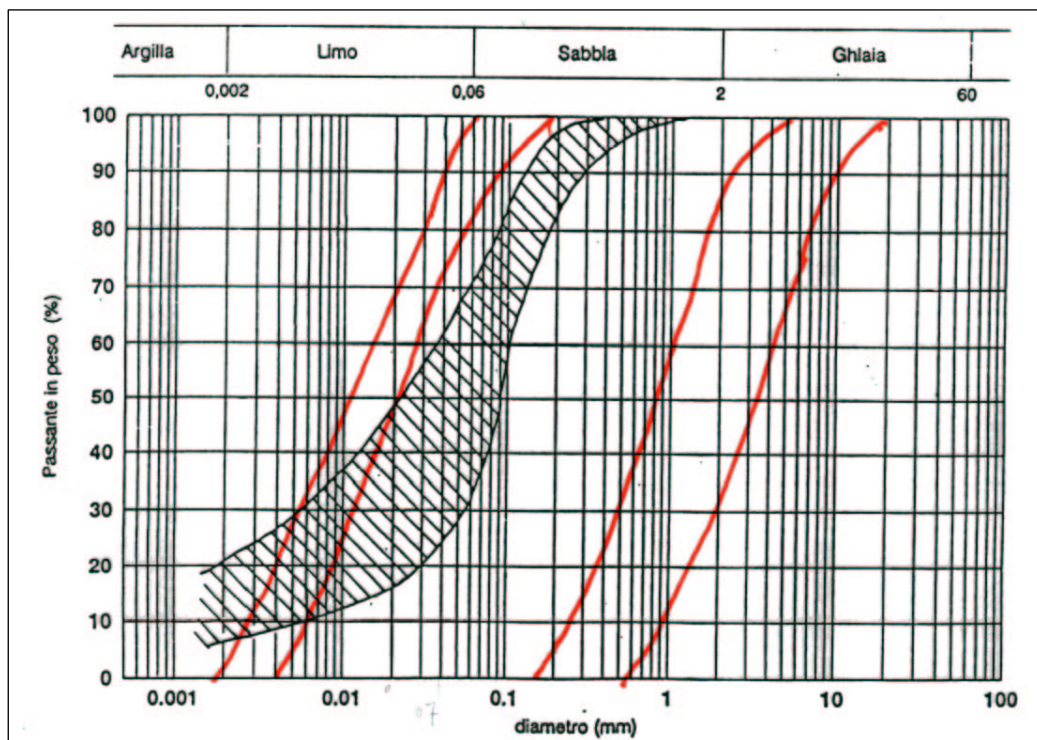


Fig. 4.6 - Il diagramma semi-logaritmico riporta l'involuppo dei fusi granulometrici di circa 15 campioni (5 di letteratura, 7 di proprietà di Studio, 3 dall'Alta Velocità) di sabbie dei paleoalvei del Reno. Le linee in colore delimitano i campi ad "elevata possibilità" e "possibilità di liquefazione"

Gran parte degli esiti delle analisi ricadono nel campo più interno <Elevata possibilità di liquefazione>, oppure, al più, con la coda granulometrica fine entrano nel campo della < Possibilità di liquefazione>.

Il sondaggio S1, realizzato lungo la linea sismica St-1 (fig. 2a) per verificare la presenza dei corpi sabbiosi del Reno più superficiali, ha permesso il prelievo di campioni di sedimento granulare rappresentativo delle tessiture mediamente riscontrate nella zona satura, da sottoporre alle analisi tessiturali. In appendice sono riportati i relativi certificati di analisi. A questi sono stati aggiunti due campioni, gentilmente concessi dal Servizio Geologico della Regione E-R, tratti

da un sondaggio eseguito circa 500 metri ad ovest di S2 (S_{RER} in figura 2b), proprio in corrispondenza dei medesimi paleovalvei del Reno.

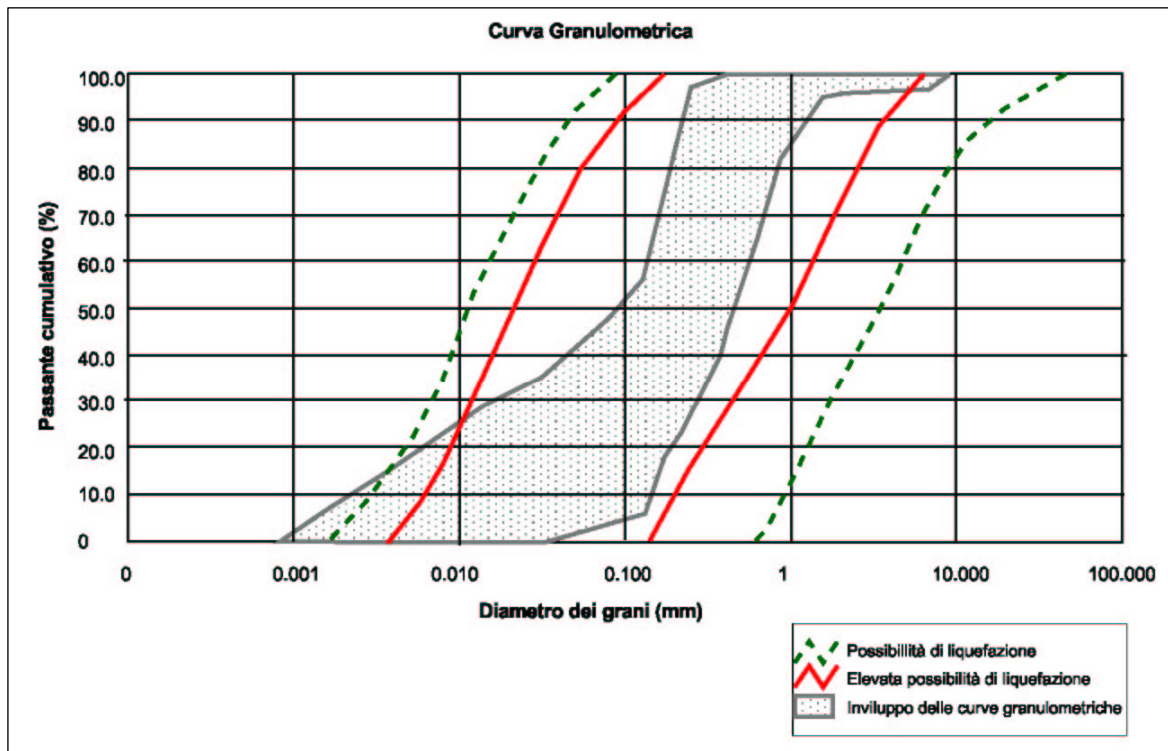


Fig. 4.7 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

Sono stati analizzati in tutto 11 campioni, di cui 9 nel sondaggio S1 e 2 tratti dal citato sondaggio regionale S_{RER} . La scelta dei campioni da sottoporre ad analisi tessiturale è stata compiuta in base a due criteri: spessore della porzione granulare dello strato almeno superiore a 60 cm, e rappresentatività del campione in relazione all'intera situazione stratigrafica. Il campione 2 è stato assunto in uno strato caratterizzato da grosse lamine sabbiose (spessore maggiore di 2 cm), separate da episodi millimetrici di limi e limi argillosi, il campione 3 è stato raccolto nel medesimo intervallo, togliendo però la componente fine di ogni lamina per avere una possibile misura della sola componente sabbiosa. La figura 4.7 consente di confrontare gli esiti ottenuti sui campioni prelevati nell'intervallo di 10 metri (tra -7 e -17 metri di profondità dal p.c.), con i fusi granulometrici riportati nelle linee guida AGI e nella delibera regionale. Il risultato grafico dimostra che solamente alcuni tratti della colonna stratigrafica indagata hanno una composizione granulometrica tale che almeno la coda più fine dei granuli esce dal fuso caratteristico dell'elevata possibilità di liquefazione, solo in un caso con percentuale di passante superiore al 20%.

La figura 4.7 mostra anche una grande coerenza con gli esiti della figura 4.6 tratta dalla relazione del PS Associato, anche i due campioni ricavati dal S_{RER} , più

volte citato, hanno fornito curve granulometriche che rientrano perfettamente nell'inviluppo riportato in figura 4.7.

La conclusione è che certamente le sabbie considerate sono assai simili, che tutte rientrano per almeno 70% nel campo dell'alta possibilità alla liquefazione, che l'ampiezza dell'inviluppo indica che i campioni analizzati provengono da ambienti deposizionali fluviali tra loro non molto diversi.

4.4.3 Prove Triassiali Cicliche a liquefazione

Tra tutti i campioni di S1 analizzati, si è selezionato il C4 raccolto tra quota -10 e -10,40 m dal p.c, che costituisce un esempio di tessitura assai diffusa: l'ambiente deposizionale dovrebbe essere rappresentativo della zona d'alveo raggiungibile dalle piene bi- triennali (bankfull).

Il campione prelevato (tra quota -7,20 e quota -7,60 dal p.c.), a Funo di Argelato, su una verticale che attraversa il medesimo paleoalveo (vedi PSC Argelato) è invece caratteristico di un ambiente deposizionale di barra sabbiosa, nel pieno dalla corrente trattiva. I due campioni costituiscono quindi l'esempio di due situazioni fluviali tra loro complementari, per questo motivo vengono considerati assieme sia nel PSC di Castel Maggiore, sia in quello di Argelato. L'analisi granulometrica di figura 4.8 individua il diverso contesto deposizionale in termini di energia della corrente che trasportava i granuli.

Su questi due campioni, ritenuti espressione delle condizioni mediamente rappresentate nei territori interessati dalle tracce di paleoalvei del Reno indicati in figura 3 come "Reno 3" e "Reno 4", si è richiesta una specifica analisi diretta per la stima della liquefazione al variare del carico ciclico.

Il confronto tra le tessiture del campione di Funo di Argelato con le sabbie del Ticino, conferma le attribuzioni sedimentologiche fatte, inoltre consente di avere un raffronto anche relativamente alle condizioni di liquefazione, ben studiate per i sedimenti del F. Ticino.

I due campioni sono stati quindi sottoposti a prove Triassiali Cicliche a liquefazione. Le prove, sono state eseguite dal laboratorio di getotecnica ISMGEO (ex ISMES), una delle poche strutture private in Italia attrezzate per eseguire questo tipo di analisi. In laboratorio, i campioni rimaneggiati sono stati ricomposti e riportati alle condizioni naturali originali, secondo particolari procedure standard.

La prova, si compone delle seguenti fasi:

- saturazione e consolidazione isotropa del provino (ricostruzione delle naturali condizioni di confinamento del sedimento);

- controllo di buona esecuzione della ricostruzione del campione anche confrontando le Vs ottenute dal campione con quelle ottenute in campagna;
- esecuzione di fasi di carico ciclico a liquefazione in condizioni non drenate.

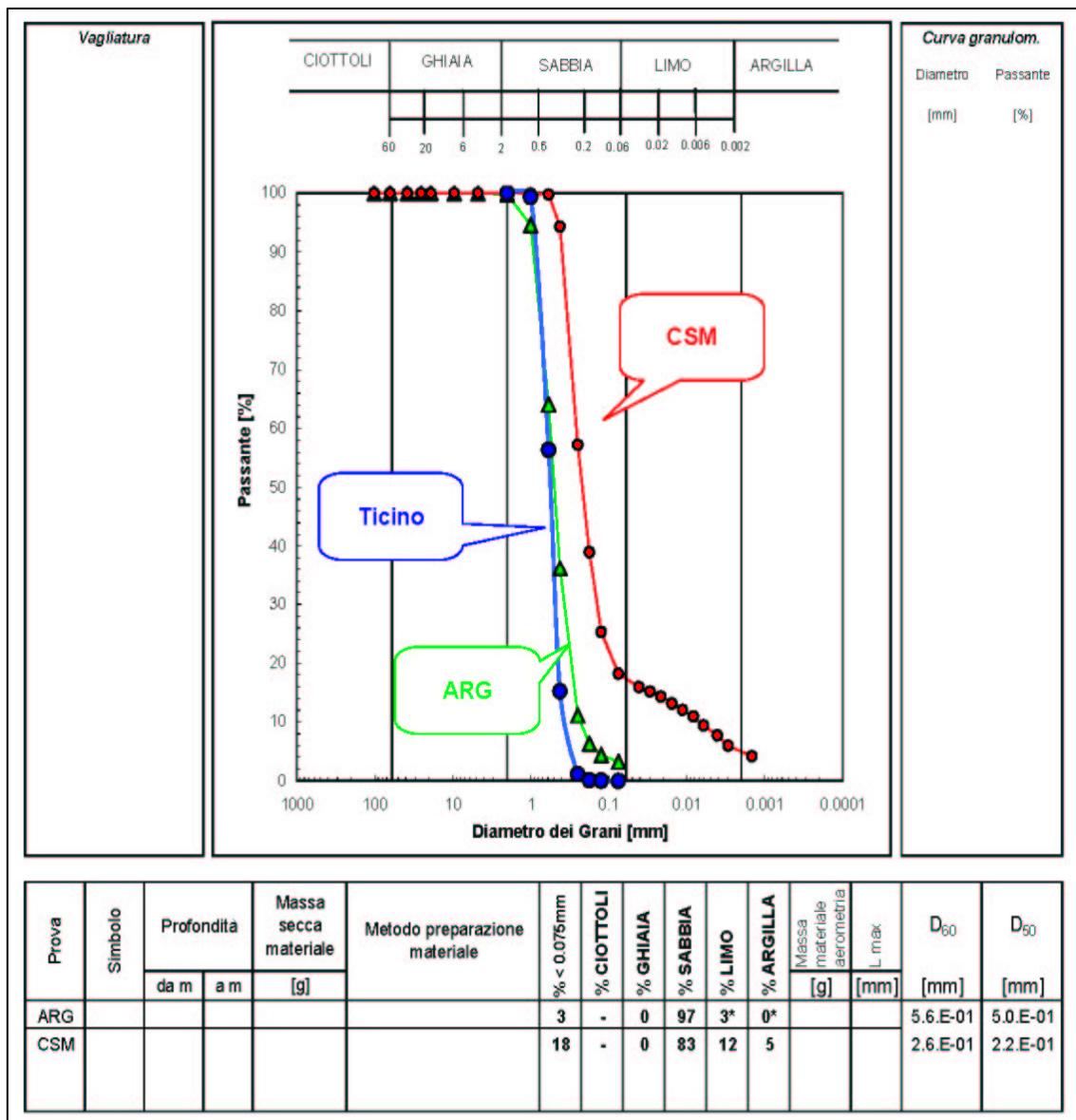


Fig. 4.8 - Confronto tra le curve granulometriche dei campioni prelevati a Funo nel Comune di Argelato (ARG), e nel Capoluogo di Castel Maggiore (CSM), e le sabbie del Ticino, effettuate da ISMGEO.

Nel nostro caso, sono state effettuate tre simulazioni di carico ciclico, e cioè sono stati ricostituiti 3 provini, per ognuno dei due campioni, in appendice al testo si allegano i certificati delle prove.

La simulazione, ha consentito la verifica definitiva del comportamento a liquefazione dei sedimenti granulari campionati. Il risultato finale, è rappresentato dai grafici del rapporto tensionale ciclico CSR in funzione del numero di cicli di carico, riprodotti in termini grafici nella figura 4.9.

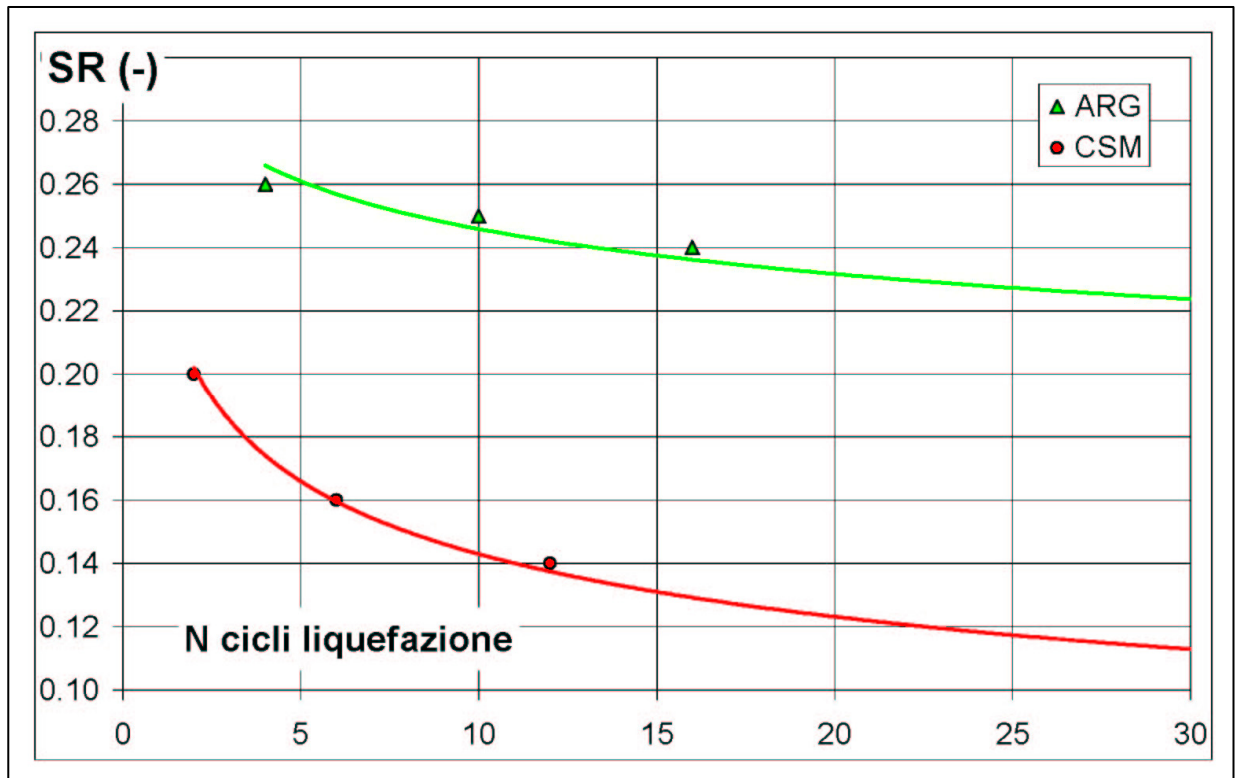


Fig. 4.9 - La prova triassiale ciclica è stata eseguita su un campione (C4) prelevato nel Capoluogo di Castel maggiore (CSM nel diagramma), e su un campione prelevato nel Comune di Argelato (ARG nel diagramma).

Il diagramma, derivato dagli esiti delle prove di laboratorio su provini ricostituiti, consente di leggere il valore di CSR in relazione al numero di cicli di carico imposti per giungere a liquefazione. Il numero di cicli è relazionata alla magnitudine del sisma da diverse relazioni empiriche, la tabella seguente riporta i valori più utilizzati in letteratura.

Magnitudo	da 5,5 a 6	6,5	7	7,5	8
Numero Cicli equivalenti	5	8	12	15	20

Questa specifica prova di laboratorio, si può quindi considerare “aperta”, cioè permette la stima del parametro CSR al variare dell’intensità dell’impulso sismico. Nel nostro caso, considerando che i parametri del sisma locale individuano una magnitudo pari a 5,5 si può entrare nel diagramma di figura 4.9 con 5 cicli e ricavare il valore della CSR corrispondente alle sabbie rappresentative delle condizioni di piena di Bankfull (campione di Castel Maggiore) **CSR=0,168**; ed il valore della CSR corrispondente alle sabbie di barra (campione di Argelato) **CSR=0,26**.

Il diagramma di figura 4.10 è ricavato sulla base di dati relativi a casi storici, per eventi sismici di varia magnitudo, per un coefficiente di sicurezza di 1,25. L'abaco correla le CSR con i valori di Q_{c1N} corretti per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004), con la relazione di Robertson e Wride (1998).

Fig. 4.10 – Correlazione tra CSR e resistenza penetrometrica statica normalizzata

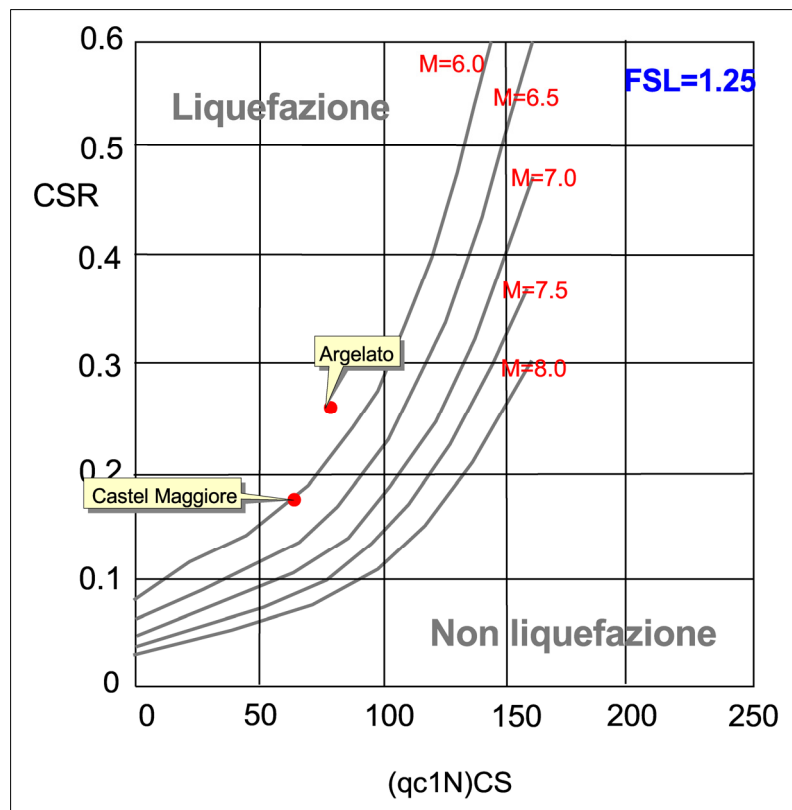
Per Castel maggiore, il campione è stato prelevato fra -10 e -10,40 metri di profondità, in sabbie fini e con coda limosa (vedi fig. 4.8), con $Q_{c1N}=56,1$ (daN/cm²). Calcolato l'indice di comportamento $I_c=1.85$, si ottiene un fattore correttivo per le sabbie pulite $K_c=1,168$, e da questo un valore di $(Q_{c1N})_{cs}$ pari a **65**.

Per il campione di Funo di Argelato, il valore di Q_{c1N} alla quota corrispondente a quella di prelievo del campione è 63,6 (daN/cm²), l'indice di comportamento $I_c=1,91$, da cui $K_c=1,196$, e quindi $(Q_{c1N})_{cs}$ pari a **76**.

Inserendo nel diagramma di figura 4.10 i valori di $(Q_{c1N})_{cs}$ e di CSR, si ottiene:

- per Funo di Argelato un punto che cade nel campo della liquefazione, sia pure in prossimità della linea di magnitudo 6;
- per Castel Maggiore un punto che cade sulla curva limite tra liquefazione e non liquefazione della magnitudo 6, o poco all'interno della stessa.

Per il campione di Castel maggiore è stata eseguita una penetrometria con punta Begemann nelle immediate vicinanze del sondaggio S1, a questo dato si sono associate le informazioni desunte dalle altre CPTU. L'impiego di una punta meccanica, sia pure con il controllo ad esempio della CPTU3, può aver determinato una approssimazione nella misura della resistenza alla punta tale da rendere non paragonabile questo dato a quello di Funo di Argelato. Si è ritenuto quindi di utilizzare un abaco, basato sempre su casi storici, che mette in relazione



la CSR con la velocità delle onde di taglio S, la V_s è ricondotta ad un valore normalizzato V_{s1} (m/s), con la relazione $V_{s1} = (Pa/\sigma'_v)^{0,25} V_s$, ove Pa è la pressione atmosferica (100 kPa), e σ'_v la pressione litostatica efficace. La figura 4.11 propone la curva di separazione tra liquefacibile e non liquefacibile riferita a sismi di magnitudo 7,5.

Considerando che le V_s tratte dal profilo di Castel Maggiore (ST-1) forniscono, alla quota voluta un valore di 190 m/s continuo e costante, e che $(100\text{kPa}/135\text{ kPa})^{0,25} = 0,927$, si ottiene una $V_{s1}=176$ m/s. Per il campione di Funo di Argelato, alla quota 7,20 - 7,60 la V_s assume un valore attorno a 160 m/s, $(100\text{kPa}/110\text{kPa})^{0,25}=0.976$, si ottiene una $V_{s1}=156$ m/s

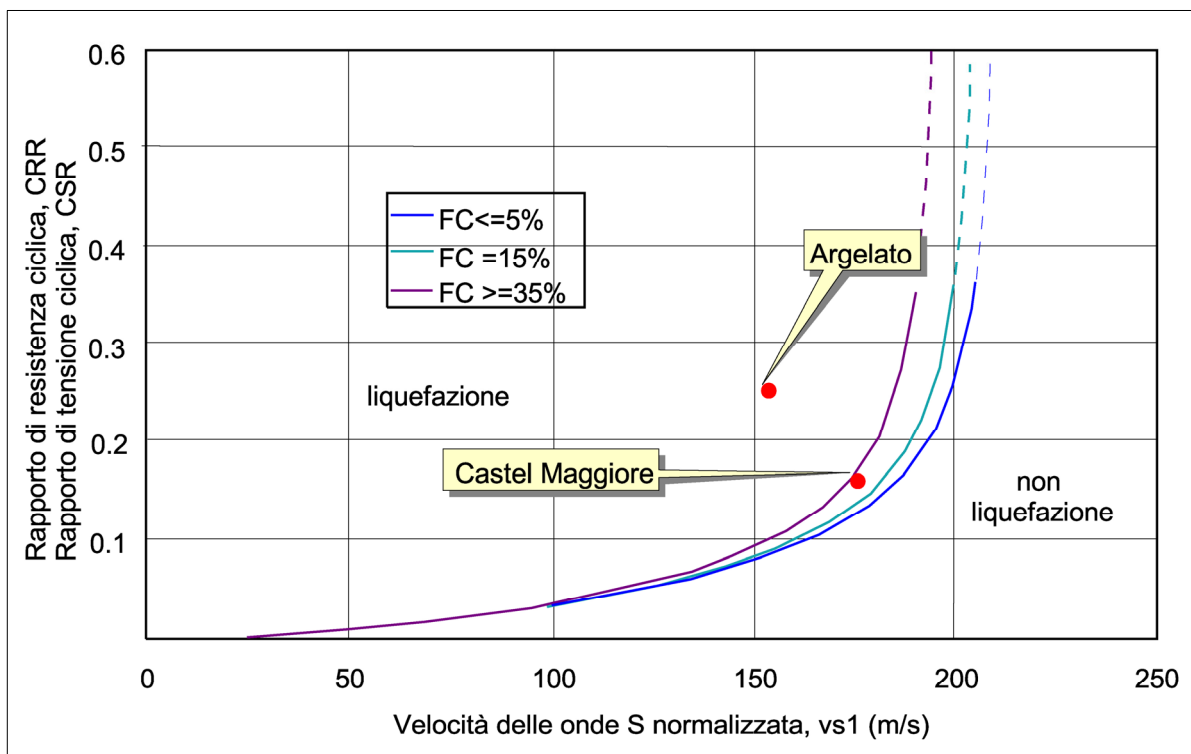


Fig. 4.11– Curve di rapporto CSR, CRR e V_s normalizzata

Plottando nell'abaco i valori incrociati di V_{s1} e CSR per ogni campione, si ottiene che la sabbia tipo Castelmaggiore cade sulla linea di limite della liquefazione; la sabbia tipo Funo di Argelato nel pieno campo della liquefazione.

Questi risultati confermano nella sostanza l'esito precedente, ottenuto con l'abaco di figura 4.10, ma in questo caso la curva è relativa a sismi con magnitudo $M=7,5$, cioè molto più intensi di quelli attesi nell'area bolognese.

In conclusione, l'insieme delle prove e delle analisi effettuate mostra un quadro abbastanza coerente di risultati, che accerta la liquefazione di questi corpi sabbiosi per sismi con magnitudo $M > 5,5$.

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 pare molto modesta, dell'ordine della decina di chilometri.

I sismi attesi nell'area bolognese, con magnitudo di 5,5 hanno epicentro nell'Appennino, 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, non si dovrebbero dunque avere effetti di liquefazione delle sabbie sature della pianura.

I dati tuttavia indicano che siamo assai vicini al limite della pericolosità, almeno per i corpi più francamente sabbiosi (tipo il campione di Funo di Argelato). 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.

Rimane pertanto un grado di incertezza che consiglia di assumere cautele strutturali adeguate, almeno per gli edifici di nuova edificazione, in tutte le aree perimetrate nella carta di microzonizzazione sismica con possibilità di liquefazione. Anche perchè l'espansione insediativa di questi ultimi 50 anni ha occupato amplissime superfici in precedenza agricole, che sono quindi sfuggite all'osservazione nei casi censiti di terremoti storici. Non vale quindi l'osservazione che i comuni di Castel Maggiore e Argelato non sono menzionati nei cataloghi appositamente predisposti.

A questo proposito il catalogo nazionale dei casi di liquefazione di sabbie sature in occasione di sismi significativi (Galli P, Meloni F, 1993), segnala a Zola Predosa, nell'evento del 1505 con $M=5,0$ e intensità 7, ad una distanza dall'epicentro di 3 km, la formazione di vulcanetti di fango, la formazione di bolle di sabbia e acqua in superficie, e l'apertura di fessure nel terreno. Molti i casi nel ferrarese con l'evento del 1570, tutti con $M=5,5$ e distanza dall'epicentro compresa tra 3 e 21 km, che segnalano fessure nel terreno, vulcanetti di acqua, sabbia e fango, deformazioni del suolo con sollevamenti ed abbassamenti.

La figura 5 riporta la sintesi delle zone in cui è nota la presenza di corpi granulari saturi nei primi 20 metri di sottosuolo, con un grado di definizione maggiore rispetto alla tavola 1.

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 suolo 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 suolo di fondazione riscontrata nell'intero territorio comunale è "C". La zonizzazione è quindi in sostanza dovuta 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

La presenza di scarpate di cava è concentrata in vicinanza dell'alveo del F. Reno, in particolare nella porzione nord della Frazione "Trebbo di Reno", ma immediatamente fuori dei confini comunali. Si tratta di una scarpata di profondità massima attorno a 10 metri, parzialmente diminuita da tombamenti. Nella frazione di Trebbo di Reno non sono previsti nuovi comparti, comunque è opportuno che eventuali futuri interventi si mantengano ad una distanza di almeno 15 metri dal ciglione della cava, corrispondente al confine comunale.

5.2 Liquefazione

La zonizzazione delle aree in cui sono stati individuati sedimenti granulari saturi è distinta da appositi retini blu e con numeri romani, questi ultimi indicano il grado di liquefacibilità:

- I – *Elevata possibilità di liquefazione*, a questa categoria corrispondono le situazioni in cui sono presenti sedimenti sabbiosi saturi in strati singoli o amalgamati, potenti oltre 1 metro e per spessori complessivi superiori al 40 % dell'intervallo da -4 a -15 metri dal p.c. Occorrerà verificare le singole situazioni specifiche;
- II – *Possibilità di liquefazione*, a questa categoria corrispondono le aree in cui è segnalata presenza di sabbie nei primi 10 metri di sottosuolo in situazioni in cui la soggiacenza del freatico è molto variabile in dipendenza dei prelievi di acque sotterranee (parte ovest del comune). 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;

III – **Liquefazione poco probabile**, si tratta delle aree in cui la presenza di tessiture granulari è verificata, almeno nei primi 10 metri, ma spesso con abbondante matrice limosa, o con potenze degli strati molto inferiori al metro, e spessori complessivi dei pacchi di strati granulari modesti. Oppure sono rappresentate ghiaie. Si dovranno pertanto controllare la stratigrafia ed i fusi granulometrici.

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 necessario approfondimento per i POC, PUA o anche nella fase di progettazione di massima, le indagini geognostiche, che è obbligatorio eseguire, 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 Vs utilizzando appunto le tabelle regionali.

La media delle velocità delle onde di taglio S, nei primi trenta metri di sottosuolo, è risultata inferiore o eguale a 200 m/s in tutta la porzione centrale e orientale del territorio comunale, mentre eguale o superiore a 300 m/s, ma sempre inferiore a 360 m/s, in un'ampia fascia di territorio ad occidente, accanto all'attuale corso del F. Reno. Stimando il bedrock sismico a quote inferiori a 100 metri si sono assunti i valori relativi alle tabelle <pianura 1>, per le due Vs:

- 1 – $V_s = 200 \text{ m/s}$ ($PGA=1,7$; $FA_{0,1s-0,5s}=1,9$; $FA_{0,5s-1s}=2,6$), le colonne litologiche considerate, ricavate dall'insieme dei dati d'archivio disponibili e dalle prove sismiche effettuate, sono estrapolabili a gran parte del territorio comunale centrale ed orientale. La porzione centrale del territorio comunale è stata oggetto dell'elaborazione di due diversi modelli di sottosuolo: "Via Chiesa" e "Via Bondanello". Il modello di "Via Chiesa" relativo alle situazioni caratterizzate dalla presenza delle sabbie di paleoalveo del Reno. Il modello di "via Bondanello" relativo al territorio in cui non si è riscontrata la presenza dei suddetti paleoalvei;
- 2 – $V_s = 300 \text{ m/s}$ ($PGA=1,6$; $FA_{0,1s-0,5s} = 1,8$; $FA_{0,5s-1s}=2,4$), le colonne litologiche ricavate dalle stratigrafie d'archivio disponibili, e la trasposizione dei dati geomeccanici in Vs, hanno consentito di estrapolare all'intera fascia occidentale del territorio comunale questa

informazione. Non sono state eseguite simulazioni sismiche per ricavare gli spettri di risposta per queste aree.

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

- **C-1** = suolo di fondazione “C” ($V_s=200$ m/s), non è nota la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, fattori di amplificazione locale $FA = 1,9$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,6$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-I-1** = suolo di fondazione “C” ($V_s=200$ m/s), sedimenti con elevata possibilità di liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $> 5,5$; fattori di amplificazione locale $FA = 1,9$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,6$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-II-2** = suolo di fondazione “C” ($V_s=300$ m/s), sedimenti con possibilità di liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $> 5,5$; fattori di amplificazione locale $FA = 1,8$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,4$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-III-1** = suolo di fondazione “C” ($V_s=200$ m/s), sedimenti con liquefazione poco probabile sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $> 5,5$; fattori di amplificazione locale $FA = 1,9$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,6$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-III-2** = suolo di fondazione “C” ($V_s=300$ m/s), sedimenti con liquefazione poco probabile sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $> 5,5$; fattori di amplificazione locale $FA = 1,8$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,4$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo.

5.4 Proposta normativa

La pericolosità sismica nel territorio del comune di Castel Maggiore si concentra attorno alla possibile liquefazione delle sabbie presenti entro i primi 15 metri di sottosuolo.

Il sisma atteso nel territorio comunale ha magnitudo minore oppure, al più, uguale a 5,5, a fronte di una dimostrata liquefazione delle sabbie per sismi di magnitudo uguale o superiore a 5,5, siamo cioè al limite basso della pericolosità: occorre che si verifichi il sisma di magnitudo massima, tra quelli statisticamente attesi in questa zona, per attivare il processo che può provocare cedimenti improvvisi e differenziali di entità tale da mettere in pericolo gli edifici.

Inoltre vi sono altre caratteristiche locali che depongono verso una diminuzione della pericolosità, o un suo controllo locale:

- a. Lo spessore insaturo è sempre superiore a 3 metri, e può superare i 4 metri nelle fasi di magra del freatico, gli edifici dotati di fondazioni

- superficiali a trave rovescia dovrebbero quindi conservare un “franco” insaturo, non liquefacibile di oltre 1 metro;
- b. I depositi sabbiosi o sabbiosi fini liquefacibili (conducibilità orizzontale $k_o = 10E-4$) in genere sono alternati ad intervalli limosi o sabbioso limosi non o meno liquefacibili (conducibilità verticale $k_v = 10E-5$) che li confinano al tetto. Lo spessore del singolo strato granulare in genere non supera 1,5 metri, compresa la porzione di tessitura più fine di tetto.
 - c. i pacchi di strati amalgamati o comunque in alternanza, dotati di tessiture che ricadono all'interno del fuso granulometrico pericoloso, hanno potenza molto variabile da luogo a luogo, ma non superano mai i 5 metri.

Molto difficile conoscere a priori l'esatta distribuzione topografica dei “fattori predisponenti”, su un territorio così ampio. Le ricerche e le analisi effettuate per il presente lavoro hanno dimostrato che i territori indicati nella tavola 1 possono avere sedimenti liquefacibili anche per terremoti di magnitudo molto modesta ($M=5,5$), ma non è stata fatta alcuna valutazione concreta relativamente all'entità dei possibili cedimenti nelle diverse situazioni geologiche (potenza, posizione, e tessitura degli strati sabbiosi rispetto alla superficie topografica, spessore dello strato insaturo), e nei diversi contesti (campo libero, oppure costruzioni esistenti), oppure relativamente ai possibili effetti provocati sulle diverse tipologie strutturali.

Tutte queste valutazioni, misure e stime dovranno essere oggetto delle ricerche di dettaglio da eseguire nei singoli comparti e condizioneranno probabilmente anche la progettazione delle opere. Le norme quindi devono senza dubbio riguardare le nuove costruzioni e le fasi di approfondimento delle conoscenze nei POC/PUA, ma appare ancor più importante iniziare ad affrontare, nelle norme, lo spinosissimo tema dell'esistente, almeno come primo approccio tecnico.

Dal punto di vista dell'esistente è opportuno sottolineare che:

- a. gli edifici esistenti in genere diminuiscono il potenziale di liquefazione di sedimenti per una profondità eguale a quella di dissipazione delle sovrappressioni imposte, per esempio dalle fondazioni superficiali (travi rovesce o plinti), per azione di consolidamento. Questa azione naturalmente è massima a contatto con la trave di fondazione e minima alla profondità a cui il sovraccarico si è completamente dissipato;
- b. La presenza di edifici, ben inseriti nei sedimenti in posto, modifica il periodo fondamentale dei terreni sottostanti, e quindi induce anche modificazioni di comportamento nella colonna litologica locale non valutabili in “campo libero”.

Importante anche ricordare che esistono strumenti di attenuazione della pericolosità di liquefazione, qualora se ne verificasse la necessità, e di diminuzione della vulnerabilità degli edifici esistenti.

Non dovrebbero presentarsi, per l'esistente, le condizioni di un diffuso rischio di crolli e lesioni gravi da cedimenti, tuttavia la possibilità che si verifichino liquefazioni puntuali in occasione di sisma della magnitudo massima attesa ($M=5,5$), è purtroppo concreta e dimostrata dalle prove effettuate.

In questo contesto appare importante proporre un indirizzo normativo basato sul "principio di precauzione" che consiglia di programmare, nel tempo, la prevenzione di possibili rischi sismici per la cittadinanza.

5.4.1 Proposta di indirizzo normativo

L'insediamento esistente, interessato dalla presenza di sedimenti con "elevata possibilità di liquefazione", sarà oggetto di un attento rilevamento morfologico e strutturale teso a verificare almeno:

- vetustà degli edifici (anno di edificazione, storia edificio ...),
- presenza/assenza di vani interrati con la relativa profondità,
- numero di piani,
- presenza di superfettazioni,
- dati strutturali (ove reperibili o rilevabili direttamente),
- dati di sottosuolo per comporre un archivio comunale specifico,
- ampiezza della strada alla fronte dell'isolato
- distanza da luogo aperto di primo rifugio.

Le informazioni raccolte con il rilevamento diretto ed indiretto (archivi, catasto, ecc.) saranno raccolte in una mappa del rischio, sintesi della vulnerabilità da crollo/lesione grave degli edifici, e della pericolosità di cedimento sismico ricavata dallo spessore presunto e dalla profondità delle sabbie liquefacibili, per sismi di magnitudo $M>5,5$.

Una simile iniziativa, che dovrebbe essere almeno parzialmente finanziata dalla Regione/Provincia, consentirebbe di programmare nel tempo gli interventi di ristrutturazione o di consolidamento mirati ad aumentare la sicurezza (cioè a diminuire la vulnerabilità degli edifici esistenti), in funzione della localizzazione e dello "stato" edilizio del singolo edificio.

Dette disposizioni dovrebbero essere previste per gli interventi di manutenzione straordinaria e/o di ristrutturazione, richiesti dai cittadini sugli edifici, e normate nel RUE.

5.4.2 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/s¹;
- 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 20 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 mono o bidimensionale 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. 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.

¹ 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).

ALLEGATI AL TESTO

Diagrammi penetrometrie CPTU

Sondaggi a carotaggio continuo

Diagramma Cono Sismico SCPT

Profili sismici tomografici

Tromografie

Certificati laboratorio

Al testo sono inoltre allegate:

- una tavola in scala 1:5.000 con la microzonizzazione sismica;
- un “compact disc” contenente le informazioni geomeccaniche in formato [*.xls], testi e figure in *.pdf.

Comune
Via
Localita'
Committente
Data

castel maggiore
la pira
castel maggiore
studio Viel
08-Oct-07

Falda

4.5 m

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

Tecnopenta 240104
Inizio prova
18-set-2007
16-dic-2004



Società di
Geologia
Territoriale

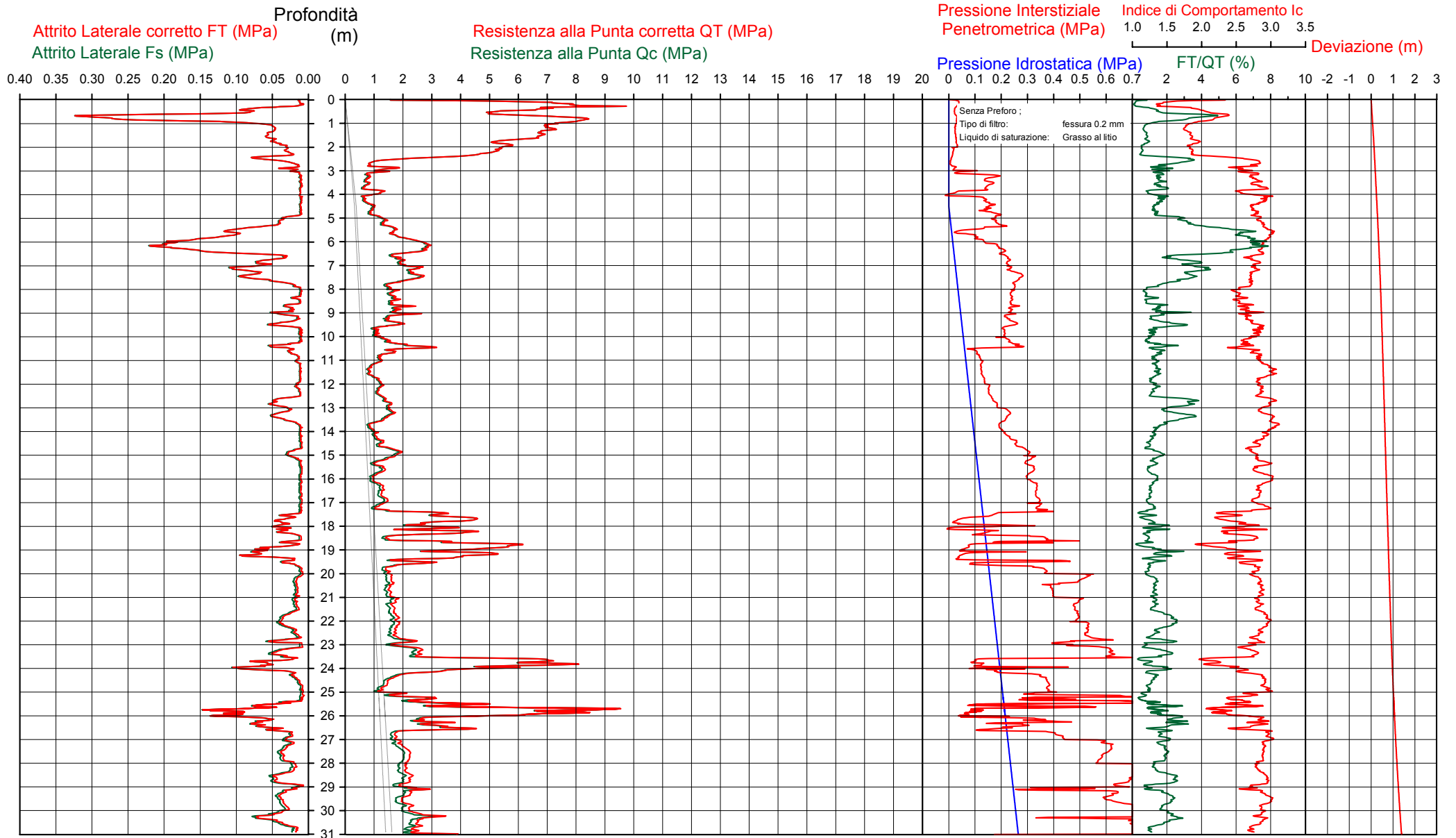
S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

CPTU

2



Comune
Via
Localita'
Committente
Data

castel maggiore
bondanello
castel maggiore
studio Viel
08-ott-07

Falda

3.4 m

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

Tecnopenta 240104
Inizio prova
18-set-2007
16-dic-2004



Società di
Geologia
Territoriale

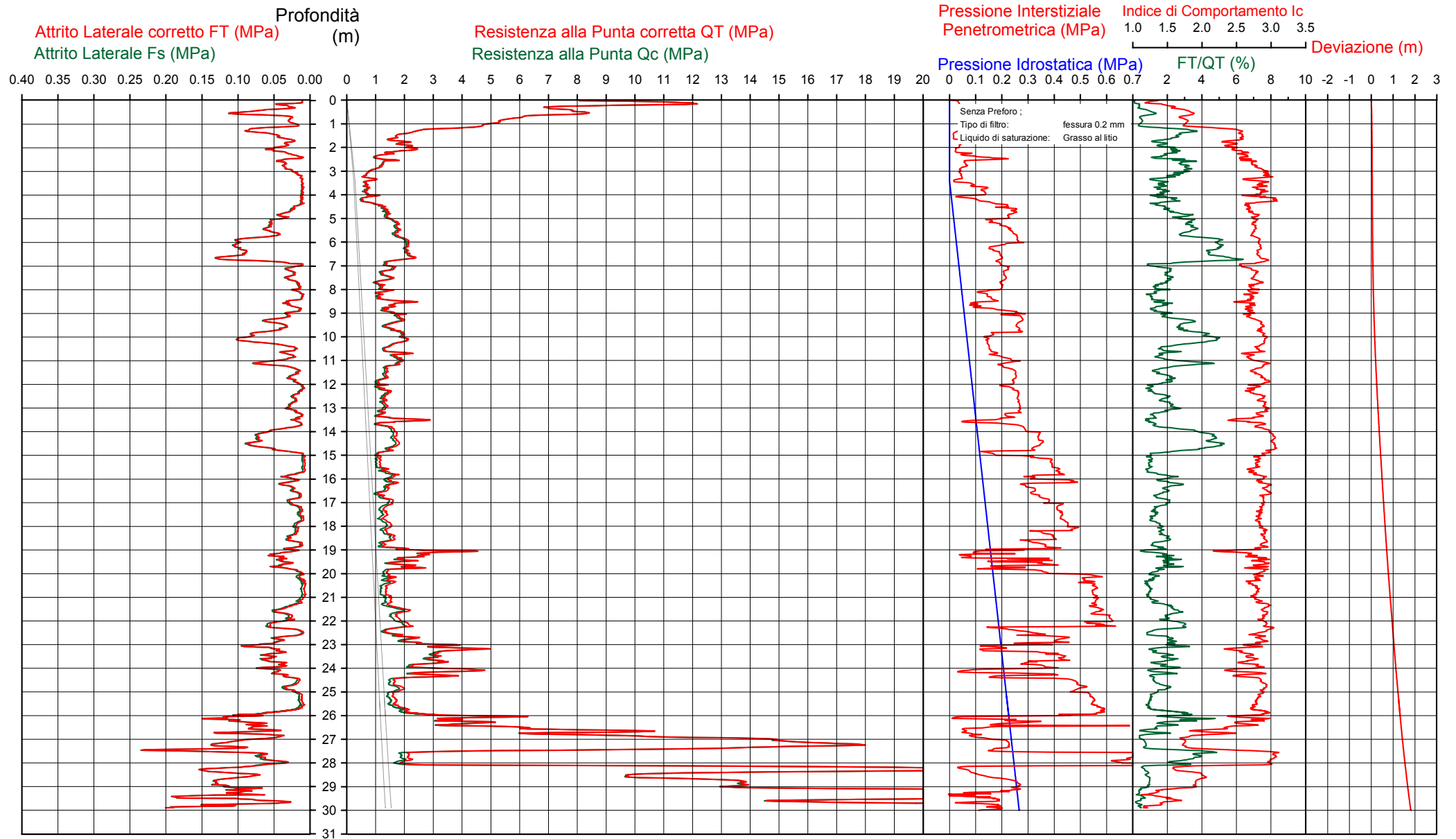
S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

CPTU

1



Comune
Via
Localita'
Committente
Data

castel maggiore
chiesa ?
castel maggiore
studio Viel
08-Oct-07

Falda

4.1 m

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

Tecnopenta 240104
Inizio prova
18-set-2007
16-dic-2004



Società di
Geologia
Territoriale

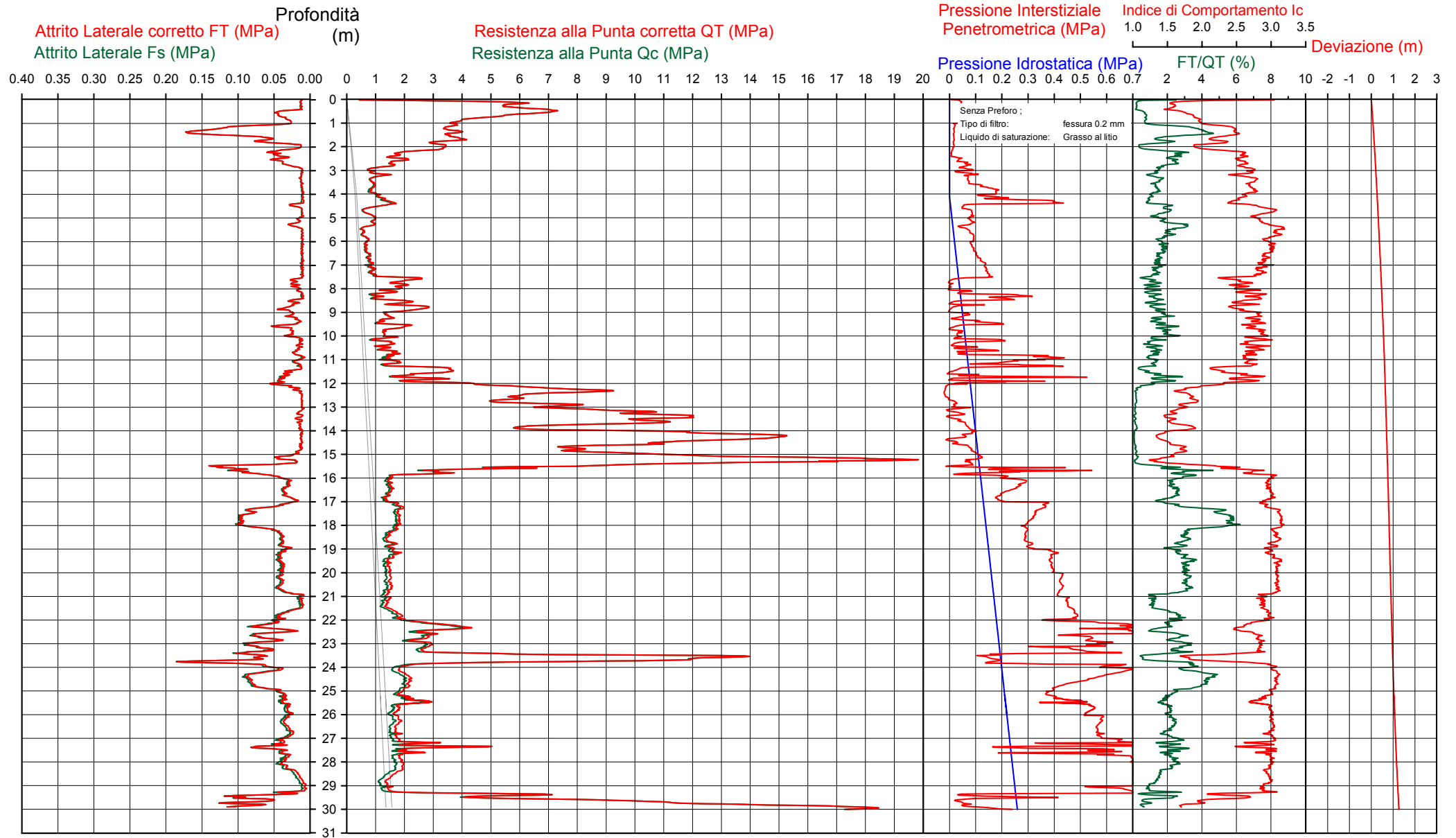
S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

CPTU

3



Cantiere: **Parco Montezemolo, Castel Maggiore (BO)**

Committente :
Studio Viel & Sangiorgi

Studio Viel & Sangiorgi
Studio di geologia applicata
Via Lasie 10/L, 40026 Imola (Bo)
tel 0542 640279 sito www.studioviel.it
mail: viel@studioviel.it sangiorgi@studioviel.it

Sondaggio :
S1

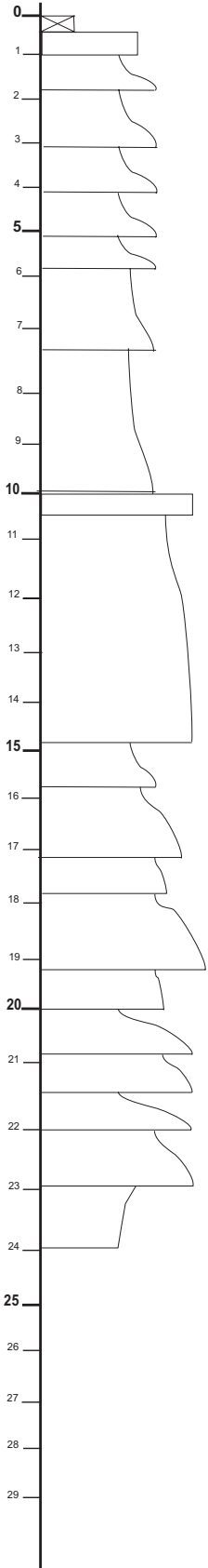
Data esecuzione :
23/10/2007

Quota piano di campagna :

Tipo di sondaggio:
Sondaggio a carotaggio continuo

Profondità raggiunta :
24 m

Ditta esecutrice :
Songeo



Descrizione	Quota (cm)	Recupero	Campione	Falda
riporto	30			
limo leggermente sabbioso	100			
limo leggermente sabbioso- sabbia limosa	180			
paleosuolo con inclusioni di materiale vegetale non decomposto; calcinelli	300			
paleosuolo con inclusioni di materiale vegetale non decomposto; calcinelli	410			
limo leggermente sabbioso- sabbia limosa; lamine limose	510			
limo leggermente sabbioso- sabbia limosa; resti vegetali (quota 5.5 m)	580			
limo leggermente sabbioso con lamine di materiale ossidato- sabbia limosa; frustoli carboniosi a base strato	730			
limo leggermente sabbioso - sabbia fine con lamine di limo; fsabbie da fin a medie con lamine limose	1000			
sabbia media	1040			
sabbia fine- media piuttosto pulite con lamine di materiale organico (frustoli) e limo;				
sabbia fine-media laminata;	1470			
sabbia media con lamine limose				
limo sabbioso con lamine sabbiose; presenza di resti vegetali; frustoli; materiale ossidato in noduli	1580			
limo sabbioso;				
sabbia fine con limo;	1720			
sabbia medio fine con lamine limose				
frustoli carboniosi	1780			
sabbia media fine con lamine; sabbia media;	1910			
ciottoli; frustoli vegetali				
sabbia fine pulita con lamine di limo e di materiale organico	2010			
frustoli vegetali; ciottoli	2070			
sabbia fine- media	2150			
sabbia fine- media	2220			
sabbia fine- media	2320			
limo con livelli sabbiosi; limo con lamine di materiale ossidato; materiale organico	2400			

Cantiere: Zona industriale, I Maggio, Castel Maggiore (BO)

Committente :

Studio Viel & Sangiorgi



Studio Viel & Sangiorgi

Studio di geologia applicata

Via Lasie 10/L, 40026 Imola (Bo)

tel 0542 640279 sito www.studioviel.it

mail: viel@studioviel.it sangiorgi@studioviel.it

Sondaggio : S2

Data esecuzione : 24/10/2007

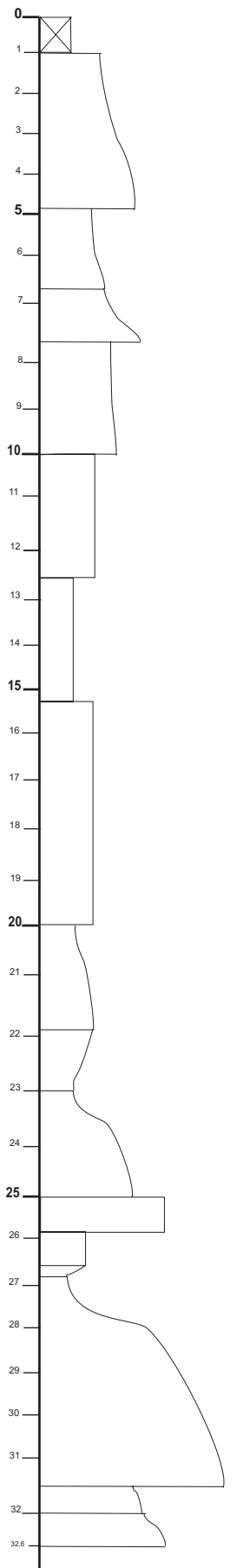
Quota piano di campagna :

Tipo di sondaggio: Sondaggio a carotaggio continuo

Profondità raggiunta : 32.6 m

Ditta esecutrice : Songo

Ø A L Sf Sm Smg Sg



Descrizione	Quota (cm)	Recupero	Campione	Falda
materiale di riporto	110	25% 50% 75% 100%		
limi argillosi di colore scuro; limi argillosi essiccati;				
limi con componente sabbiosa in aumento; presenza di lamine; frustoli calcinelli	500			
limi con componente argillosa variabile	670			
limi argillosi; frustoli; calcinelli; lobo sabbioso	765			
limi argillosi; presenza di lamine grigie ed ocracee	1000			
argille limose-limi argillosi maculati ocracei; scarsi frustoli carboniosi; pedogenizzati; noduli di manganese	1260			
argille grigie con sporadici calcinelli	1530			
argille limose-limi argillosi ; presenza di calcinelli;	2000			
argille limose-limi argillosi ; presenza di calcinelli;	2180			
limi sabbiosi passanti a limi argillosi	2300			
limi laminati con frustoli carboniosi grigi; intervalli di limo argilloso; lamine di sabbia ben evidenti;	2500			
sabbie fini con limo	2570			
sabbie medio-fini	2640			
argille limose grigie con frustoli carboniosi	2670			
argille; argille e limi; sabbie fini passanti a sabbie medie laminate;				
sabbie grossolane-ghiaia con presenza di ciottoli; matrice sabbiosa	3145			
limi sabbiosi con lamine di sabbia	3203			
limi sabbiosi con lamine di sabbia	3260			

COMMITTENTE	STUDIO VIEL
CONO SISMICO	CPTU n° 1
Località	CASTEL MAGGIORE (BO)
Data acquisizione	8/10/2007

Codice lavoro **616**

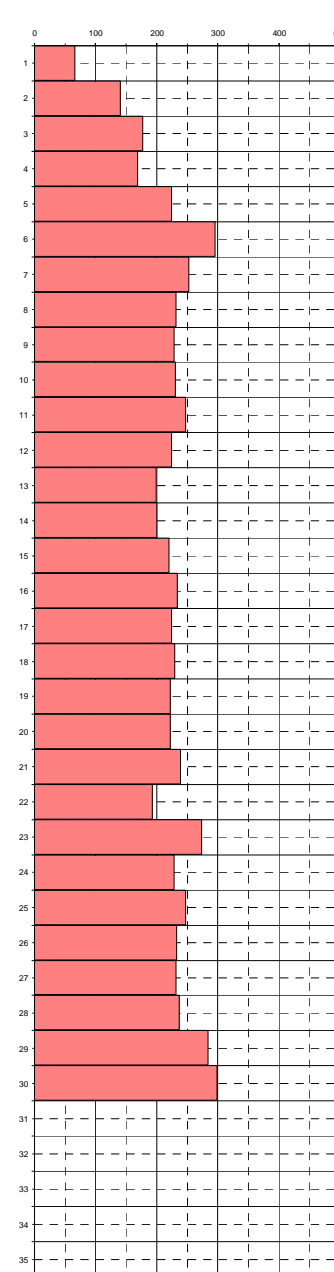
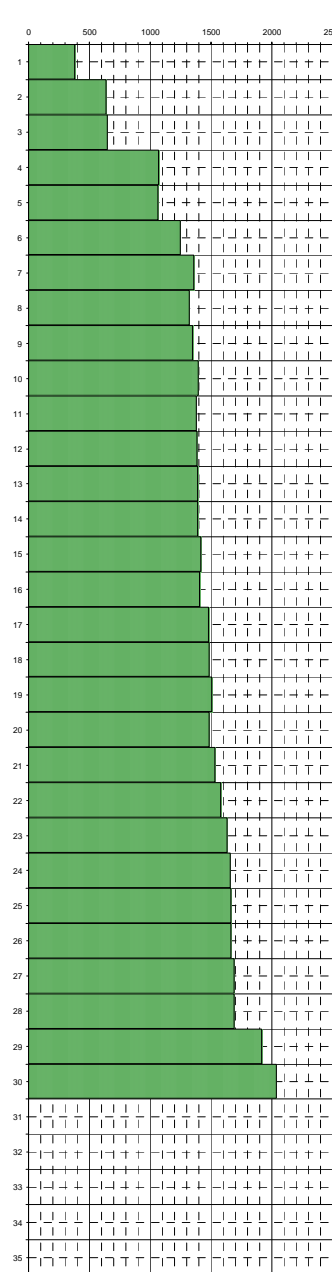


Profondità	Vp	Vs	v	γ	E _{din}	G _{din}	K _{din}
	m/sec.	m/sec.		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

0							
1	377	66	0.48	1.57	205	69	2183
2	638	141	0.47	1.74	1033	350	6748
3	646	177	0.46	1.74	1625	557	6669
4	1070	169	0.49	1.92	1655	556	21645
5	1065	224	0.48	1.92	2896	980	20870
6	1245	296	0.47	1.98	5175	1760	28868
7	1359	253	0.48	2.01	3877	1308	36073
8	1319	231	0.48	2.00	3238	1091	33960
9	1348	229	0.49	2.01	3184	1072	35731
10	1395	231	0.49	2.02	3249	1093	38573
11	1381	248	0.48	2.01	3737	1260	37491
12	1385	225	0.49	2.02	3084	1037	38064
13	1389	199	0.49	2.02	2436	818	38573
14	1392	201	0.49	2.02	2468	829	38730
15	1414	220	0.49	2.02	2967	997	39904
16	1406	233	0.49	2.02	3333	1121	39215
17	1481	225	0.49	2.04	3127	1051	44219
18	1482	229	0.49	2.04	3255	1094	44249
19	1505	222	0.49	2.05	3062	1028	45945
20	1484	222	0.49	2.04	3057	1027	44478
21	1530	239	0.49	2.05	3561	1197	47456
22	1580	193	0.49	2.07	2350	787	51531
23	1632	274	0.49	2.08	4725	1590	54361
24	1660	229	0.49	2.09	3324	1115	57122
25	1661	247	0.49	2.09	3863	1297	56920
26	1661	233	0.49	2.09	3427	1150	57153
27	1690	231	0.49	2.09	3408	1143	59395
28	1690	237	0.49	2.09	3581	1202	59347
29	1918	284	0.49	2.14	5259	1766	78049
30	2036	299	0.49	2.17	5871	1972	88986
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE
m/sec

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



Legenda parametri dinamici					
Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E _{din}	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G _{din}	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K _{din}	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson	-			

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

$V_{s30} = 207$ m/sec
 $G_0 = 860$ Kg/cm²
CATEGORIA SUOLO = C

Fig 4

COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

STUDIO VIEL
CPTU n° 1
CASTEL MAGGIORE (BO)
8/10/2007



GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI

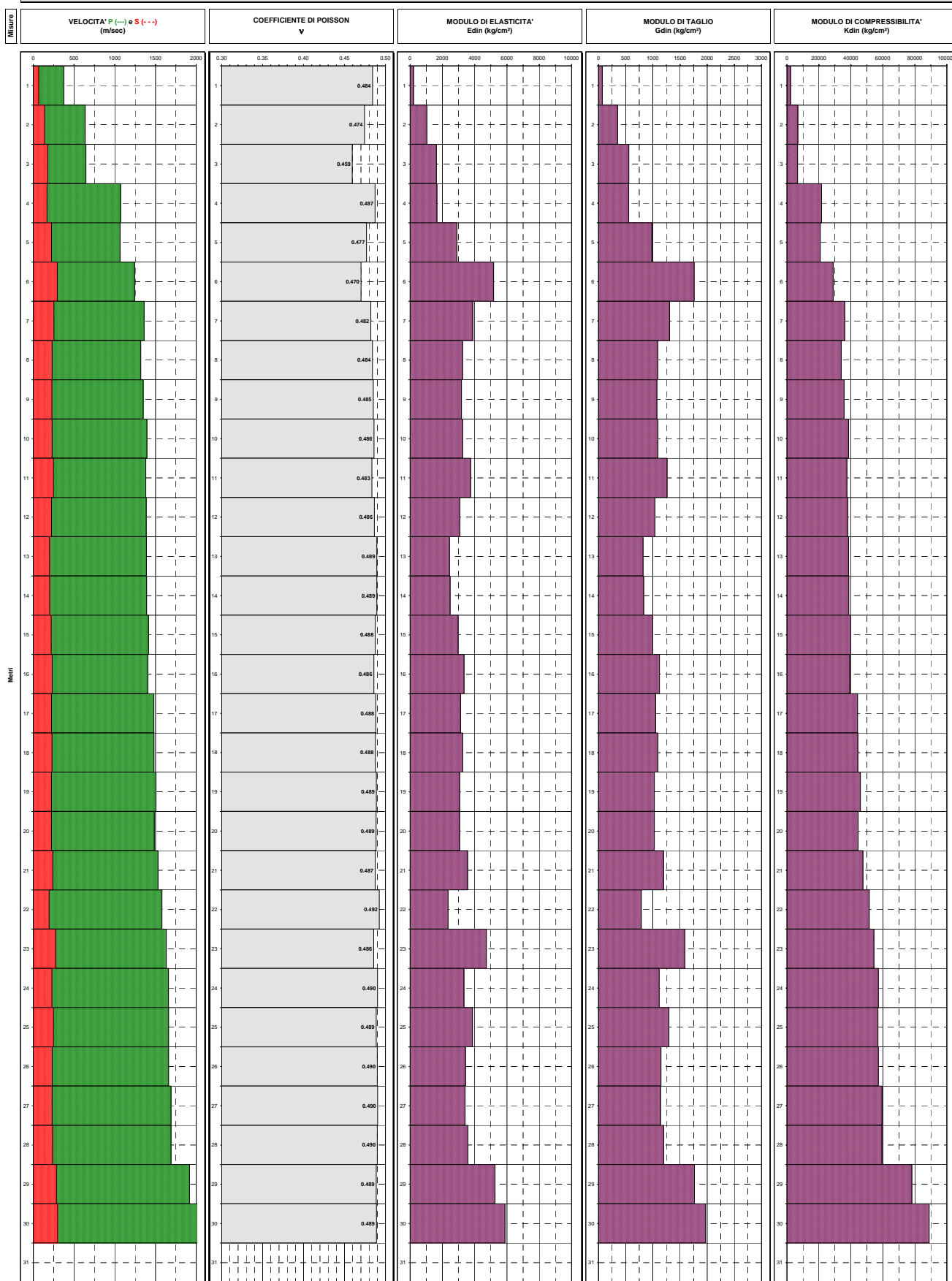
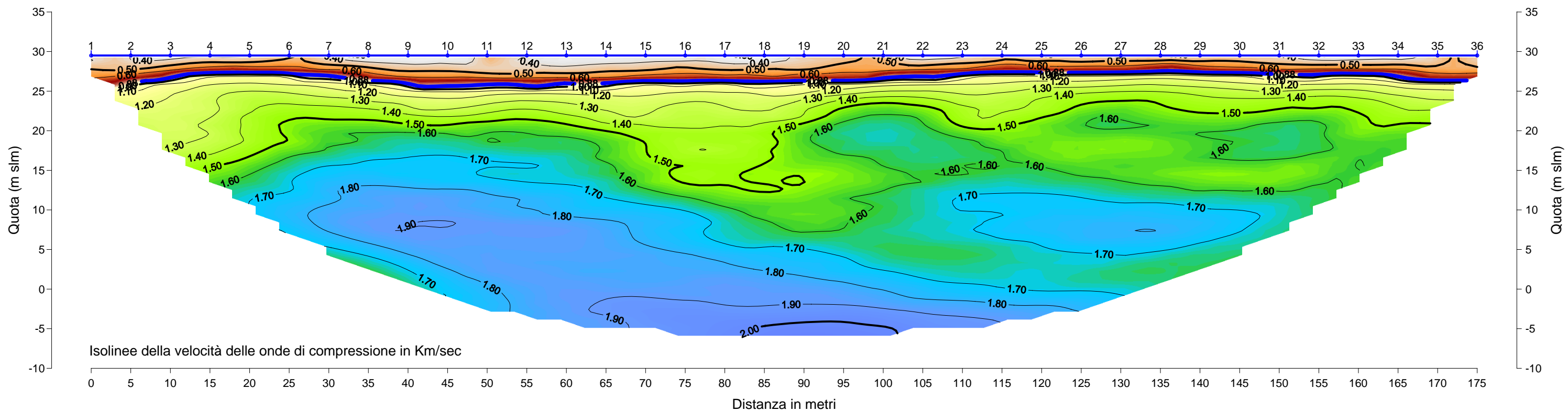
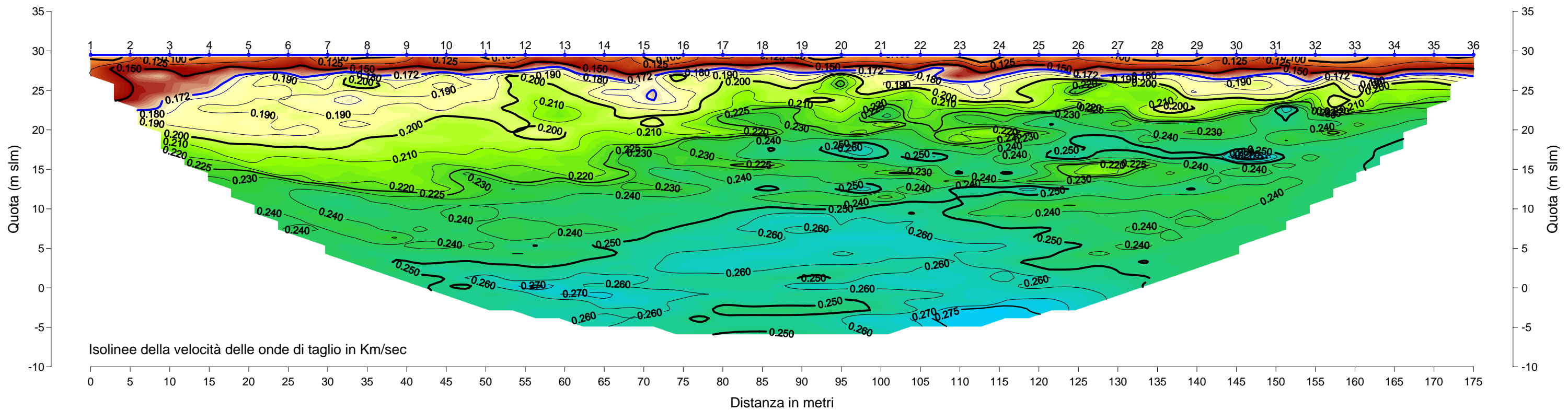


Fig 5

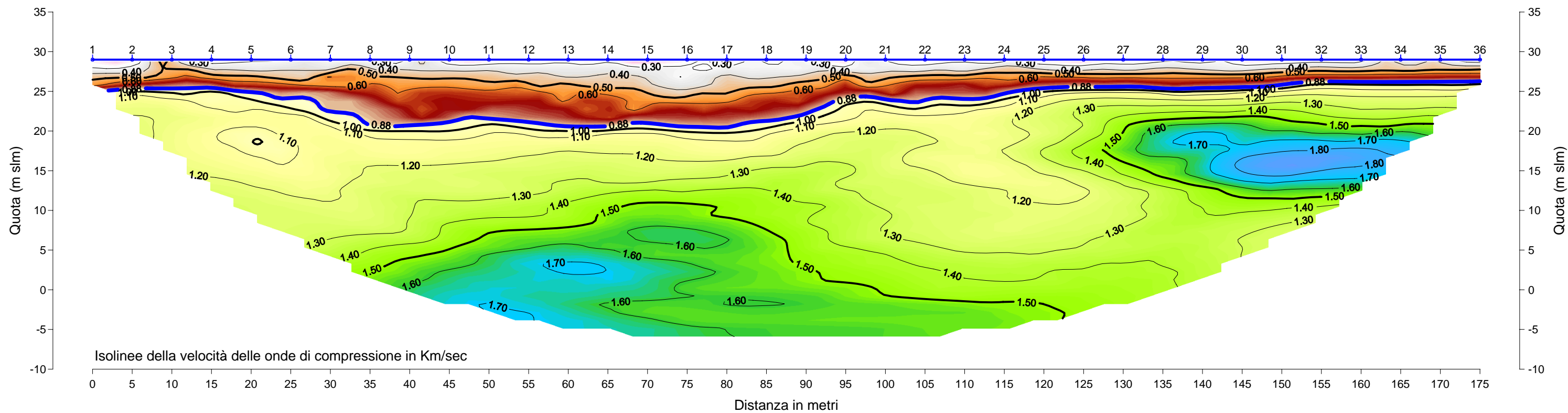
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di compressione]



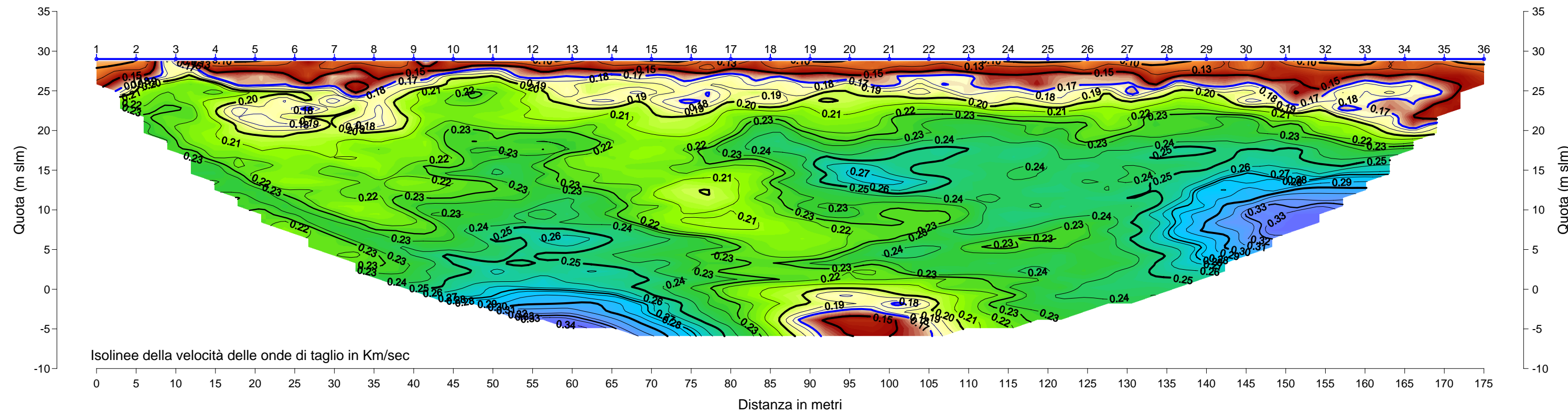
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di taglio]



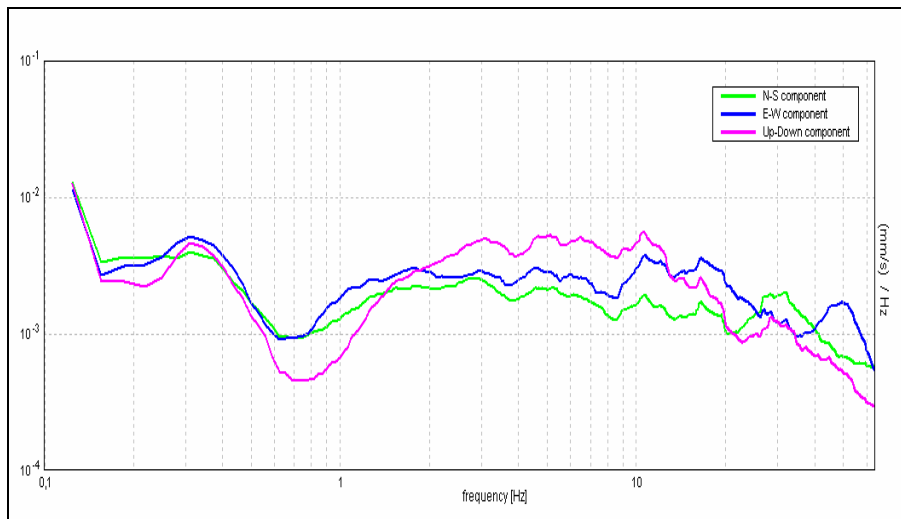
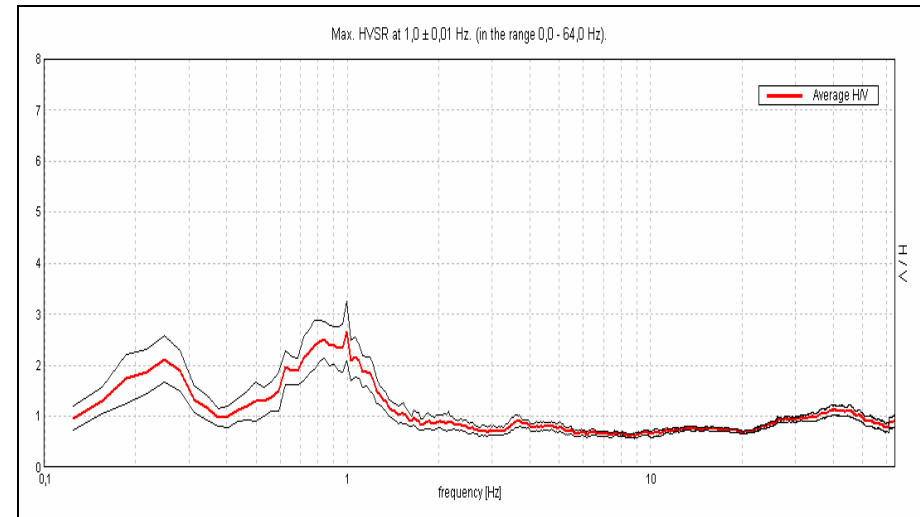
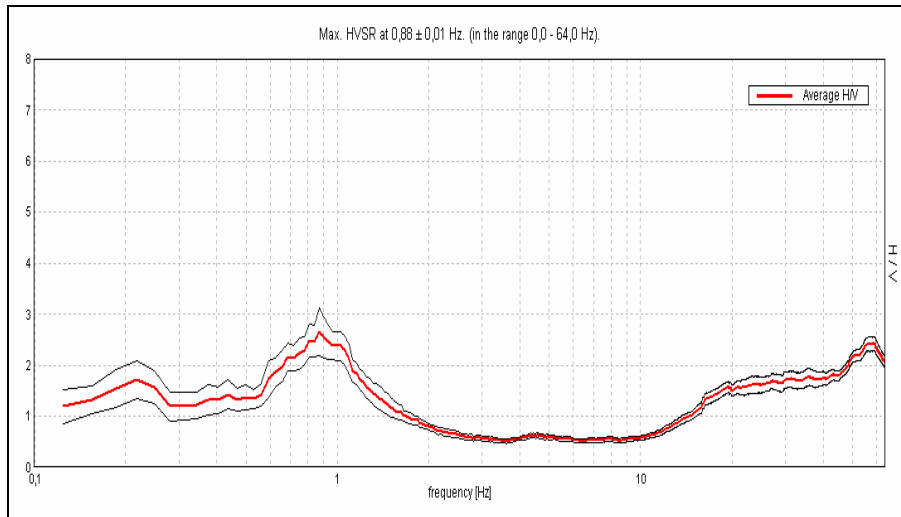
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Velocità onde di compressione]



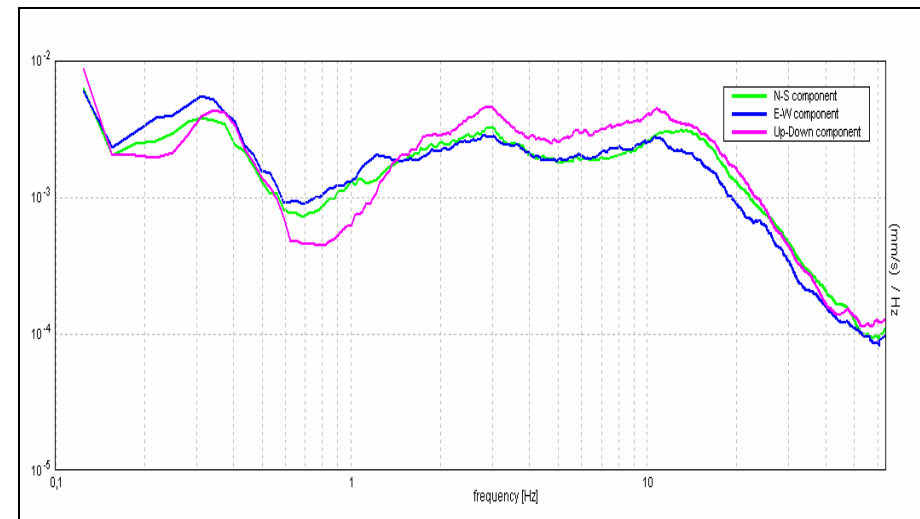
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Velocità onde di taglio]



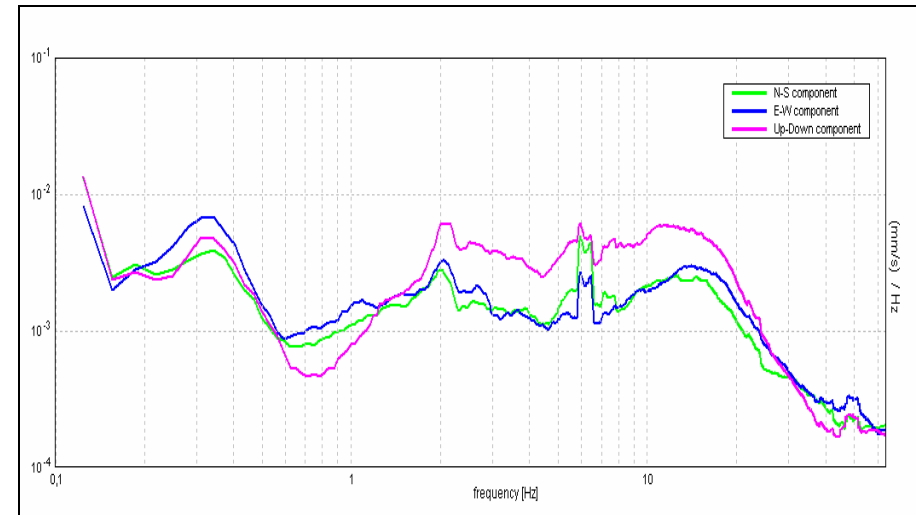
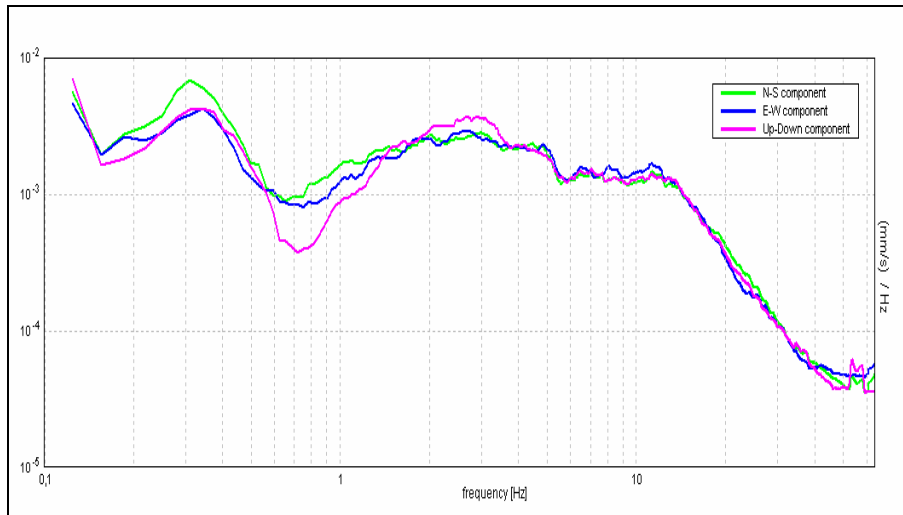
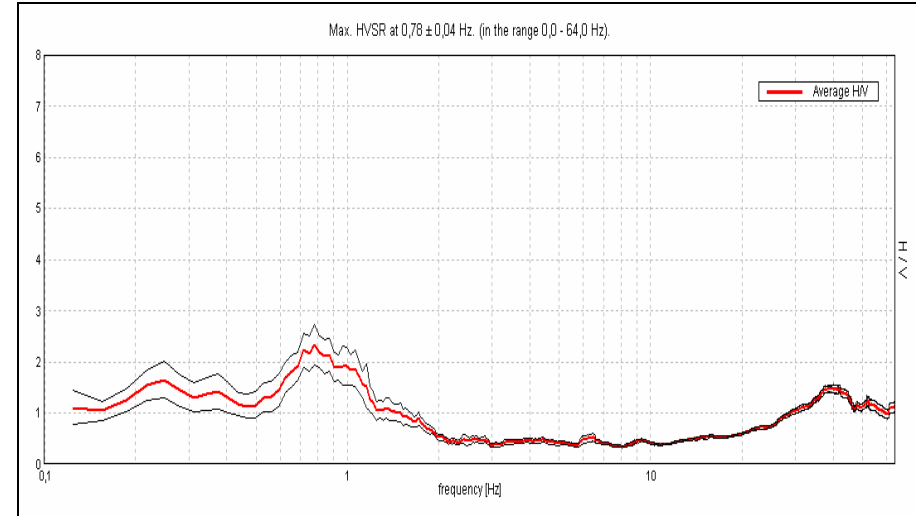
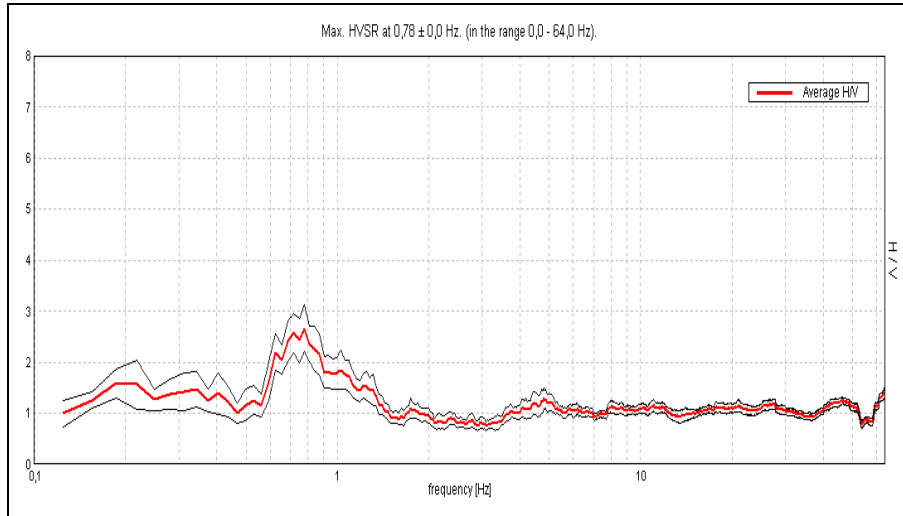
COMUNE DI CASTEL MAGGIORE



Castel Maggiore- Via Chiesa- Tr 1

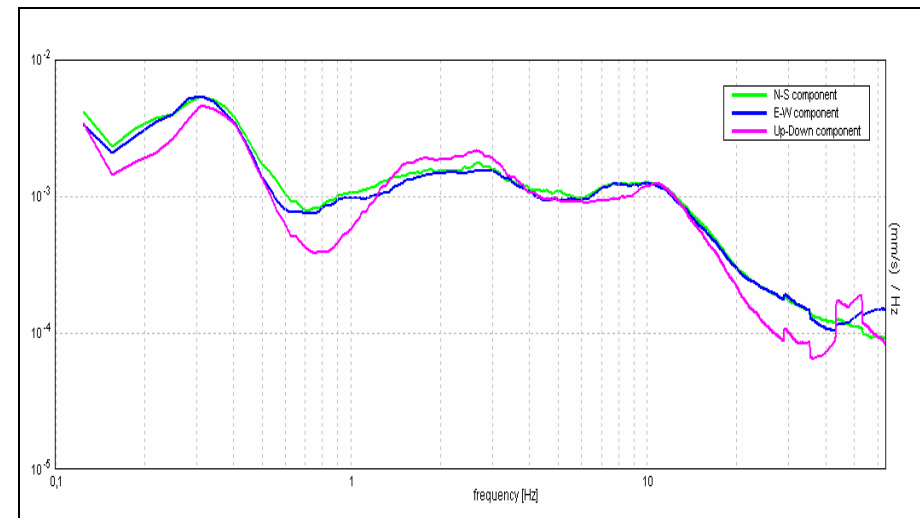
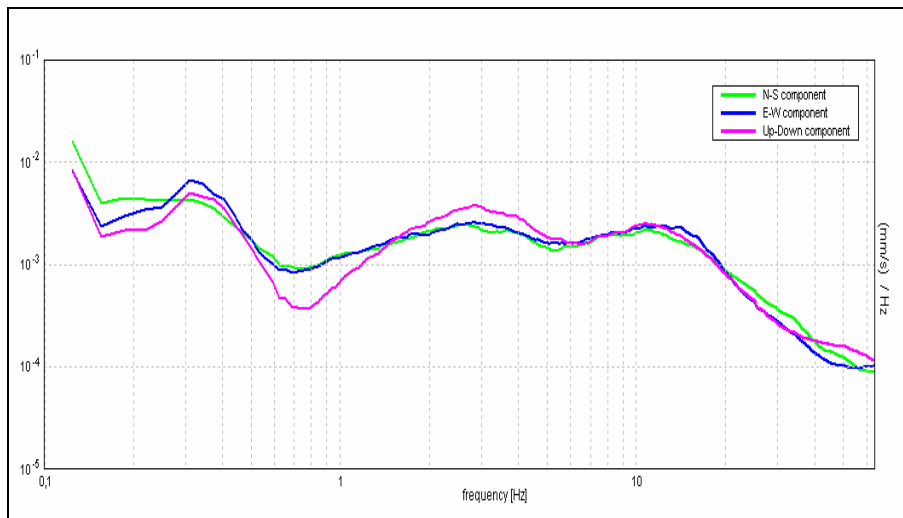
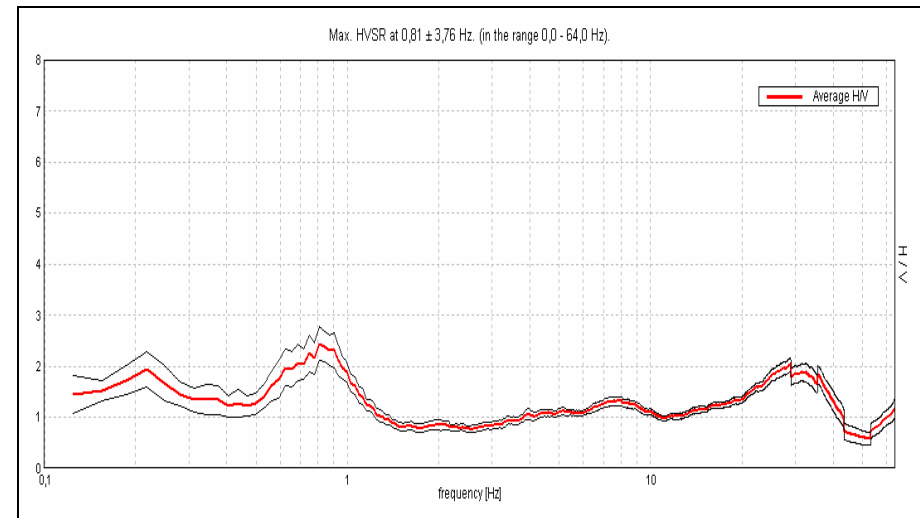
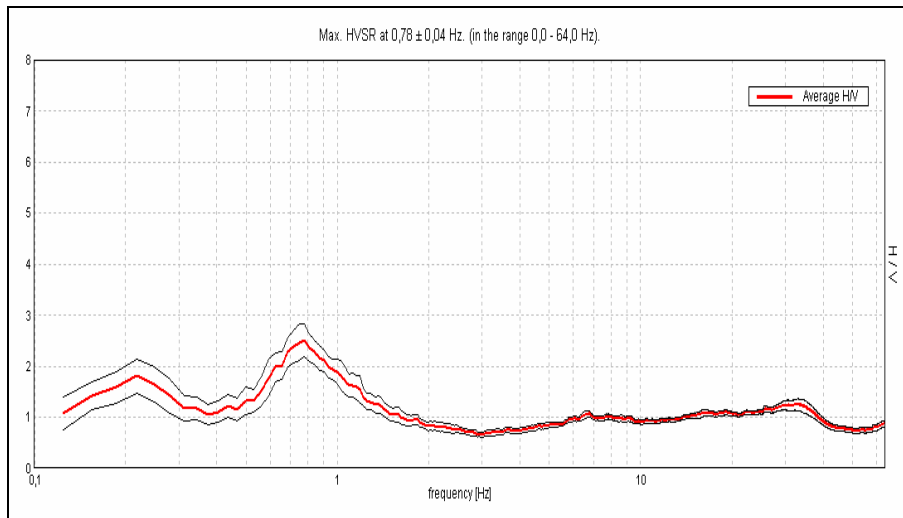


Castel Maggiore- Via Lirone- Tr 2



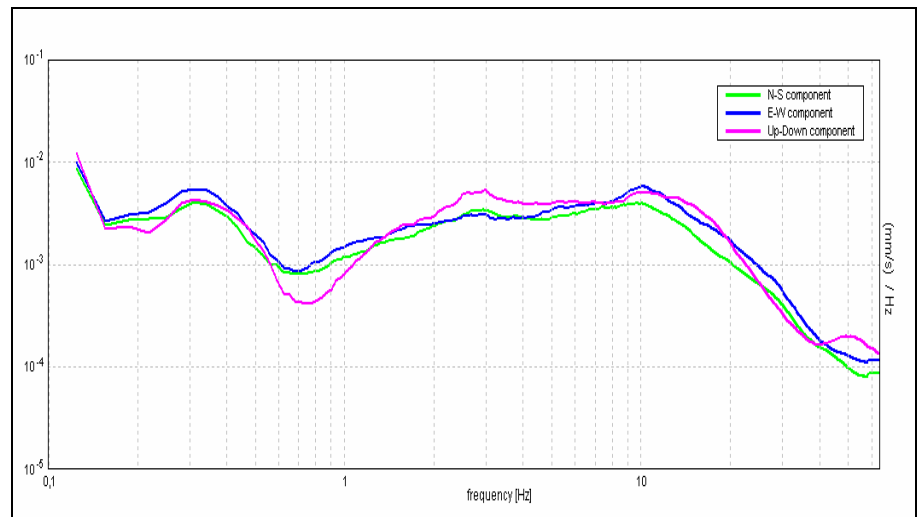
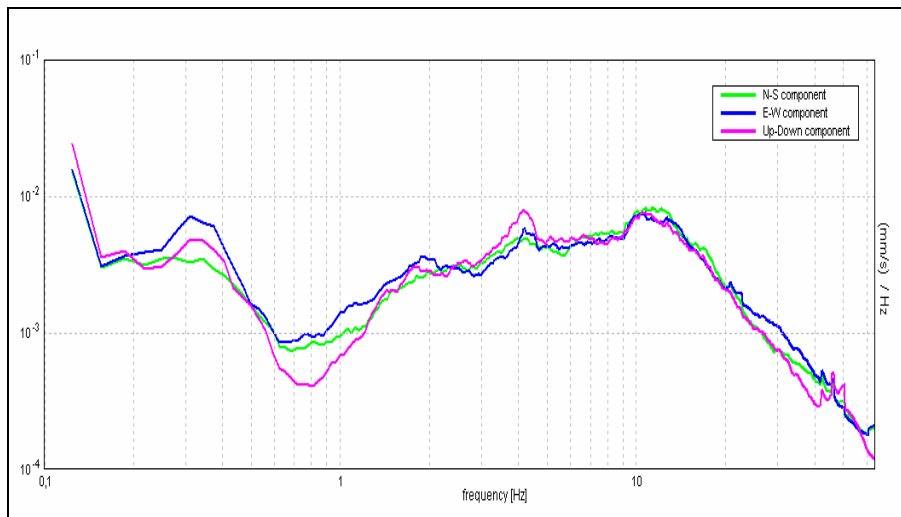
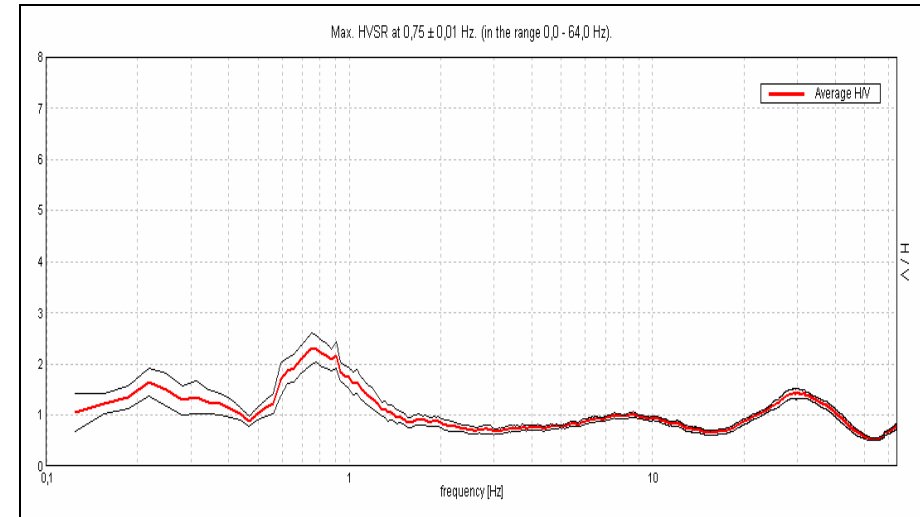
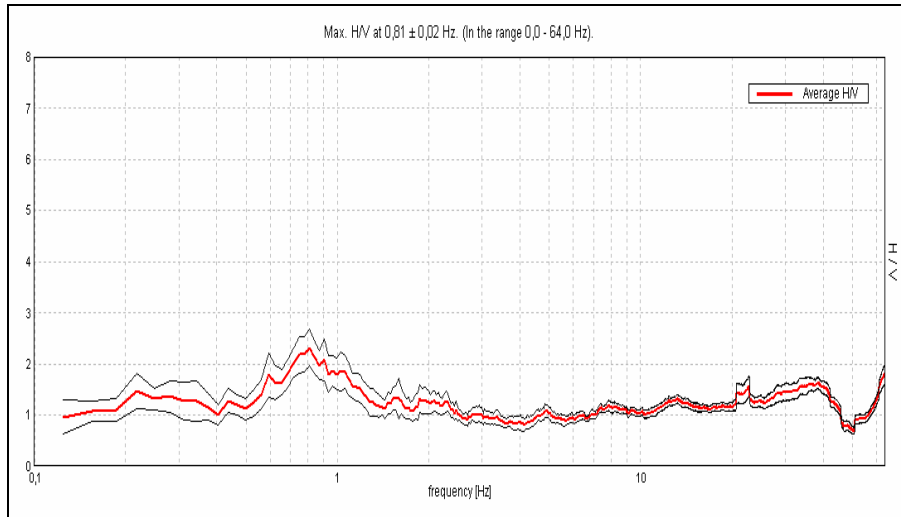
Castel Maggiore- Via San Pierino- Tr 3

Castel Maggiore-Via Gramsci- Tr 4



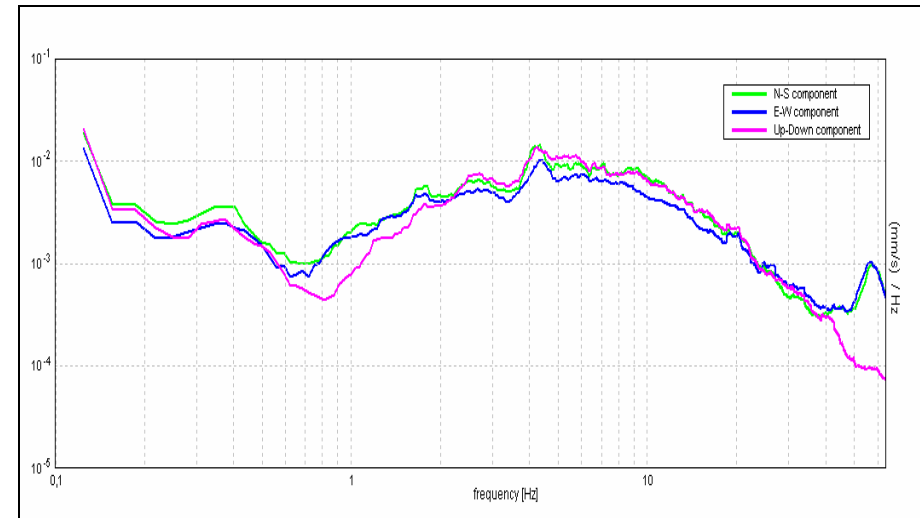
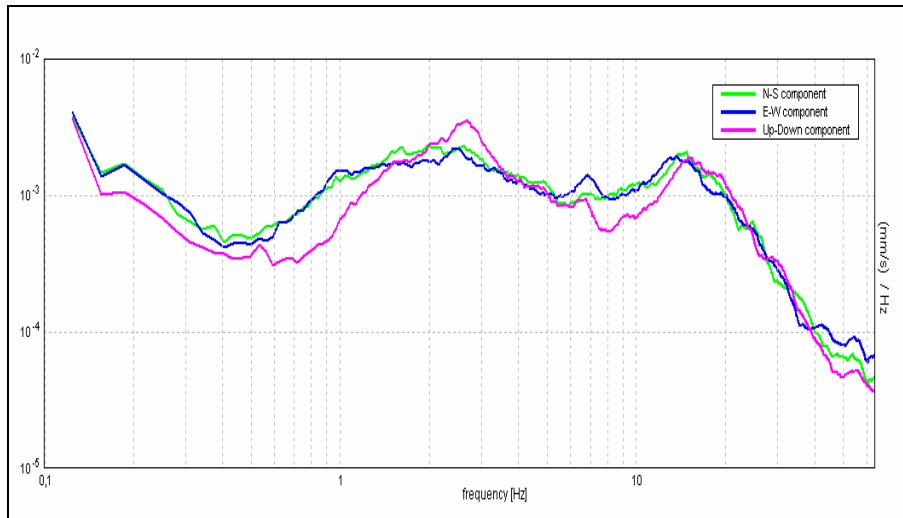
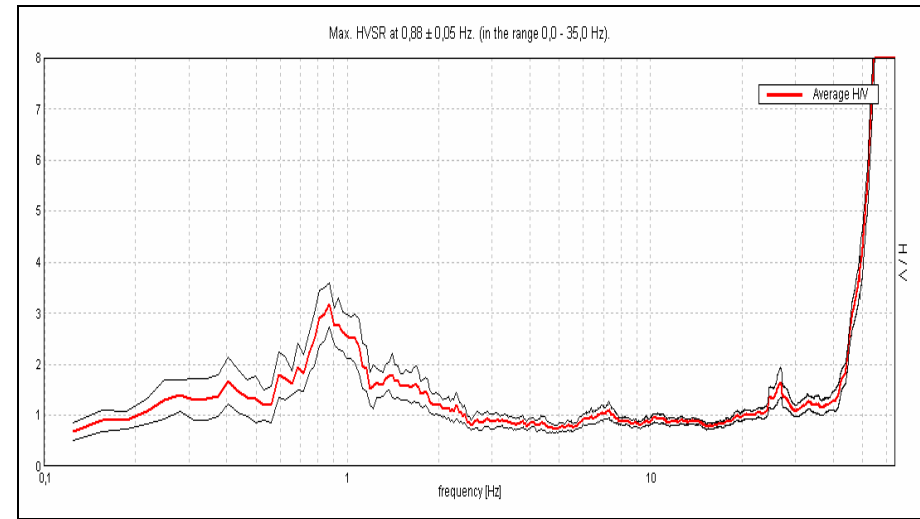
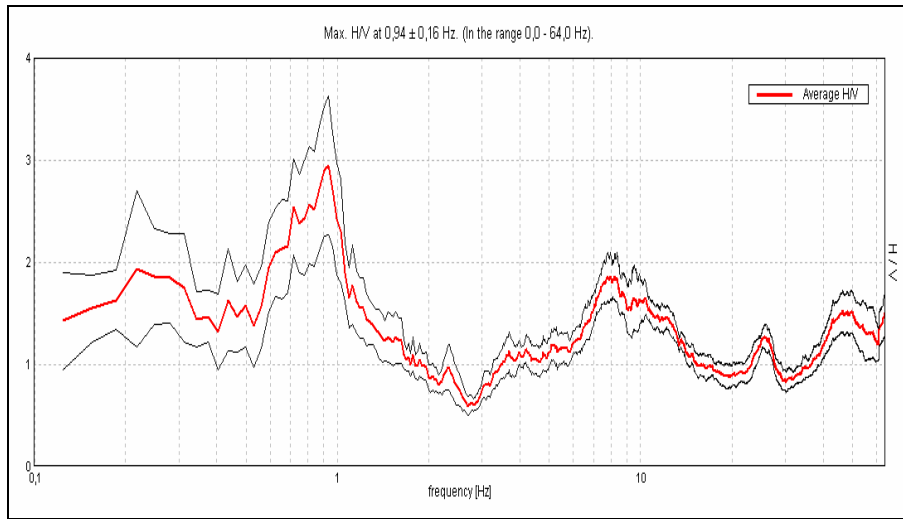
Castel Maggiore-Istituto Keynes – Tr 5

Castel Maggiore-Parco Montezemolo- Tr 6



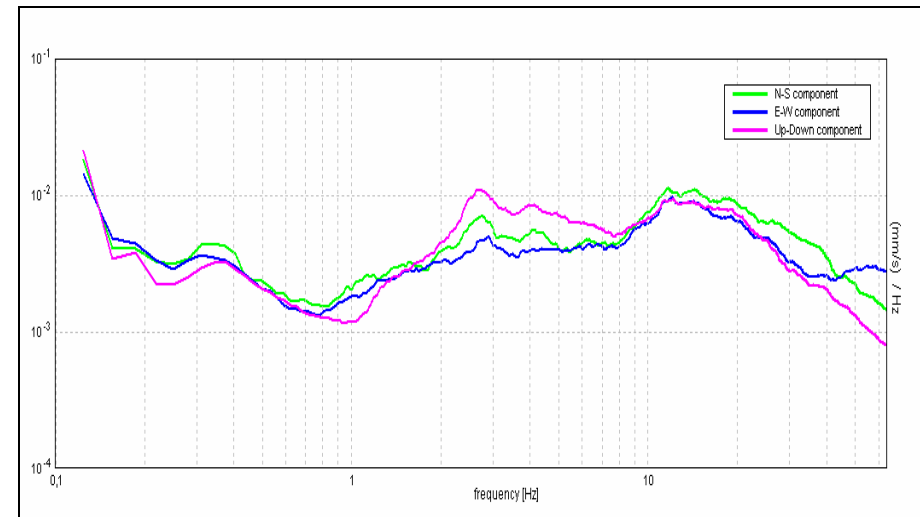
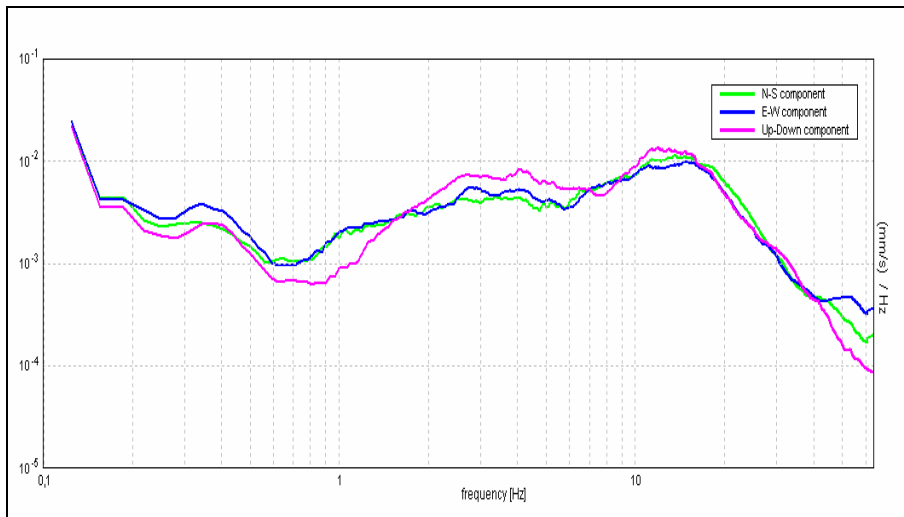
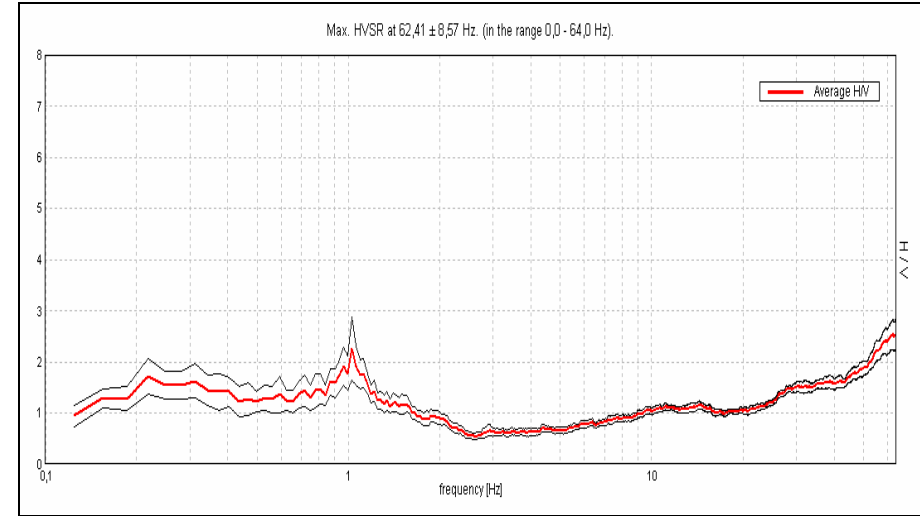
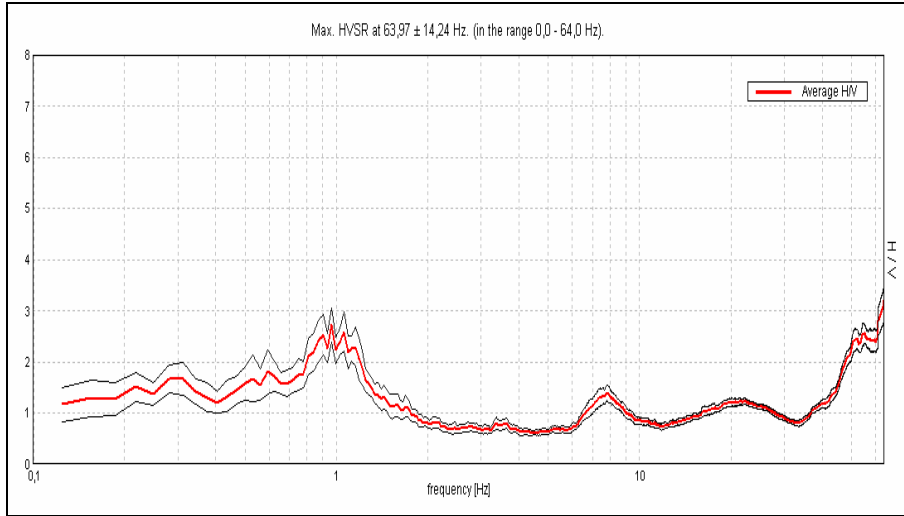
Castel Maggiore-Via XXV Aprile-Via Repubblica- Tr 7

Castel Maggiore-Via Gramsci- Tr 8



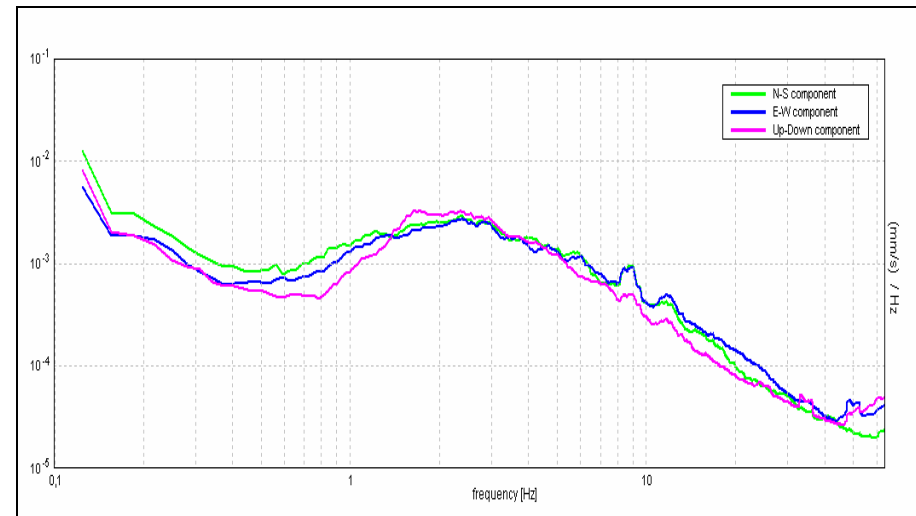
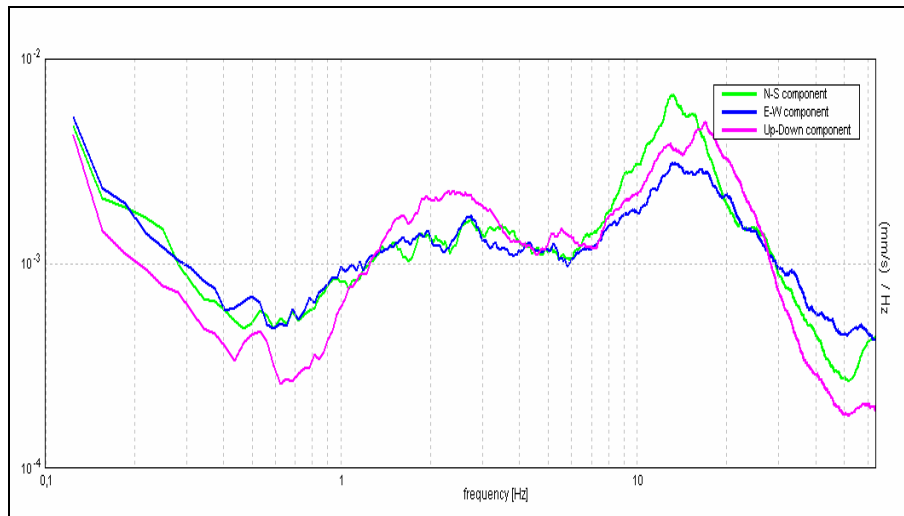
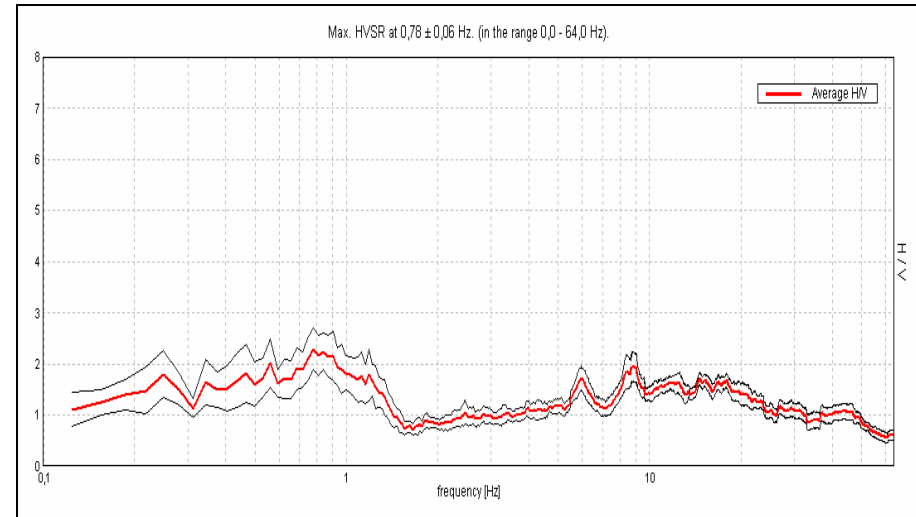
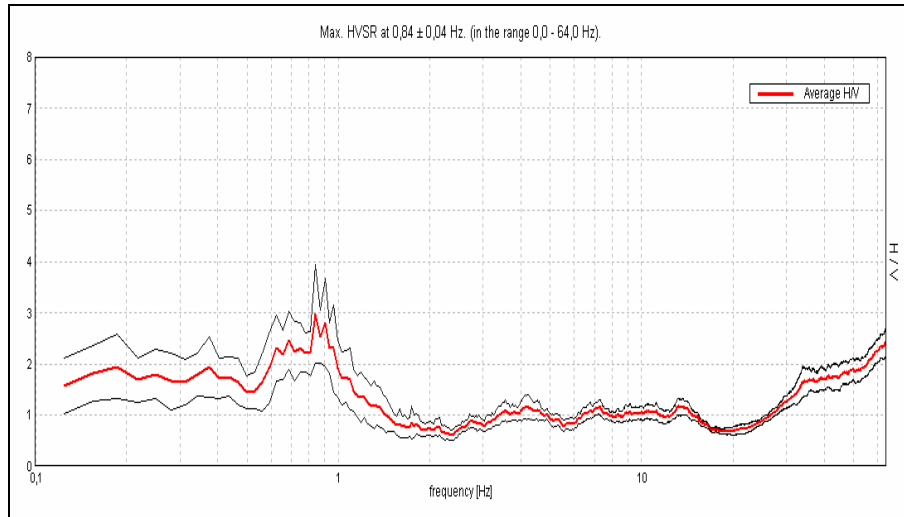
Castel Maggiore-Via Lirone- Tr 9

Castel Maggiore- Z.I.Primo Maggio-Via di Vittorio-FS-Tr 10



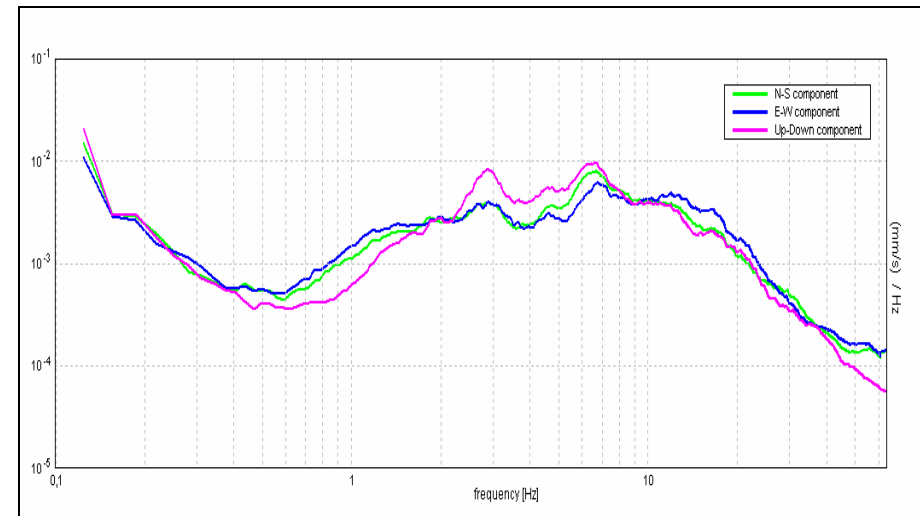
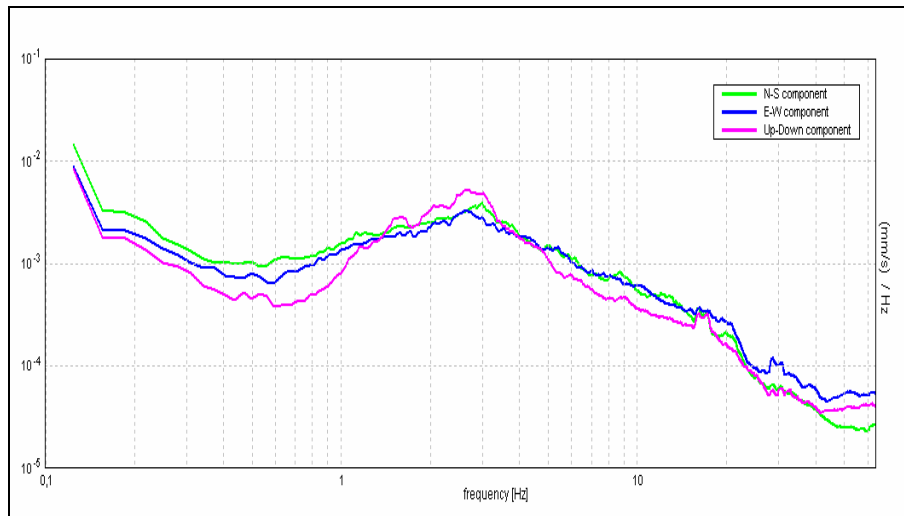
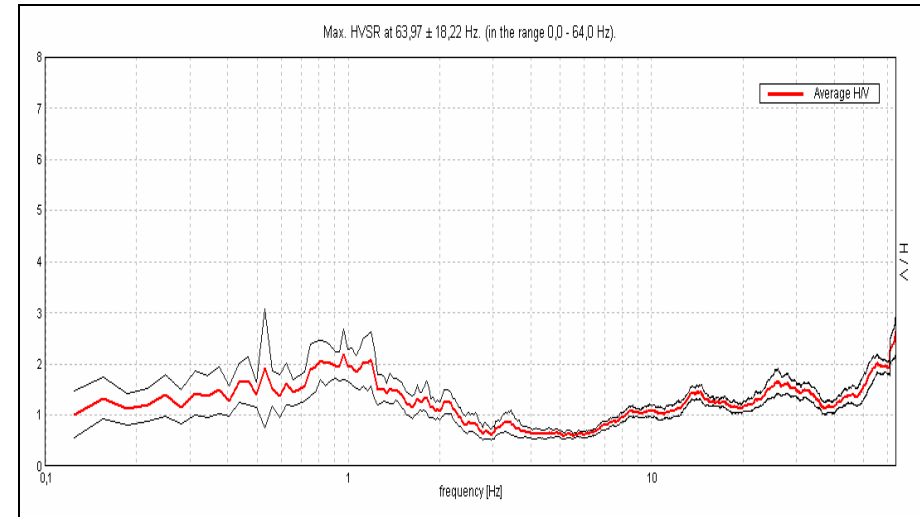
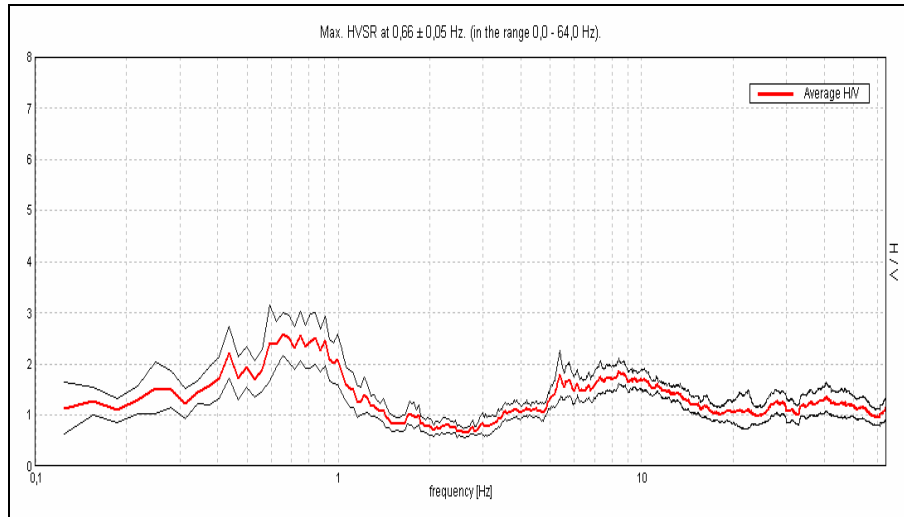
Castel Maggiore-Z.I. Primo Maggio-Via di Vittorio-FS-Tr 11

Castel Maggiore- Z.I. Primo Maggio-Via di Vittorio-Bar-Tr 12



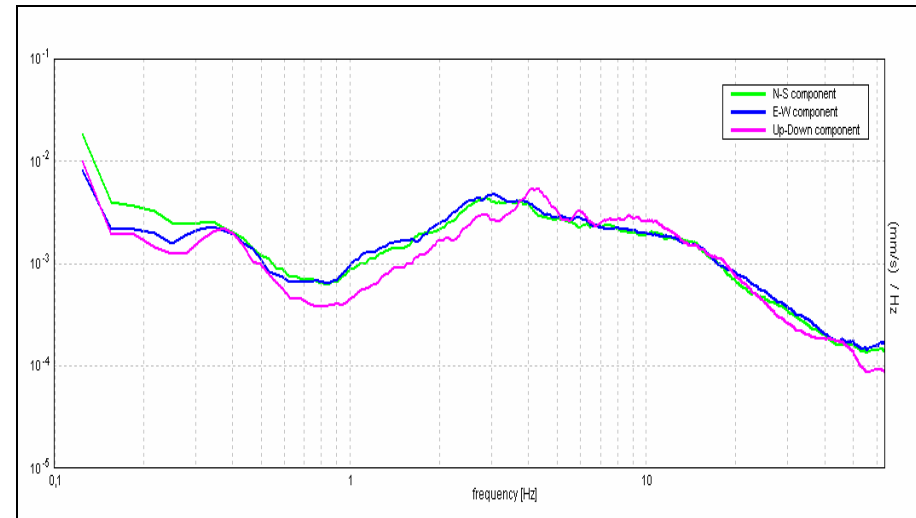
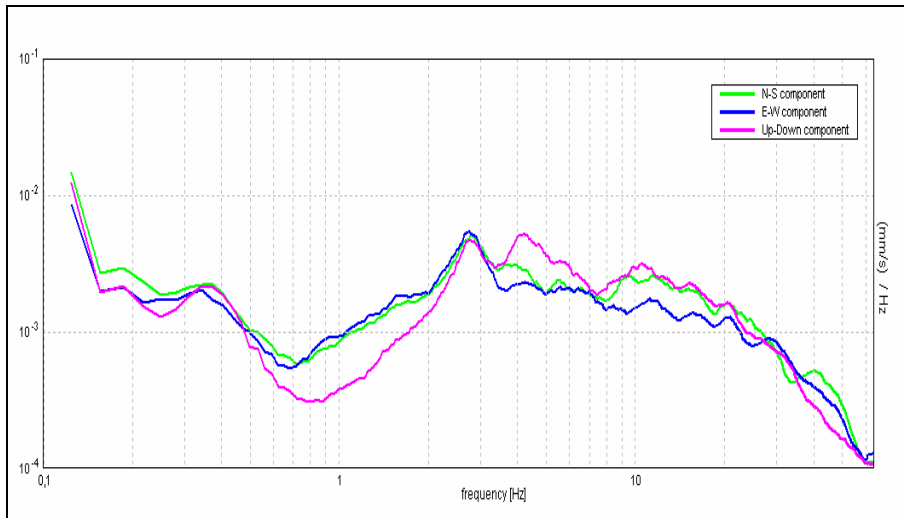
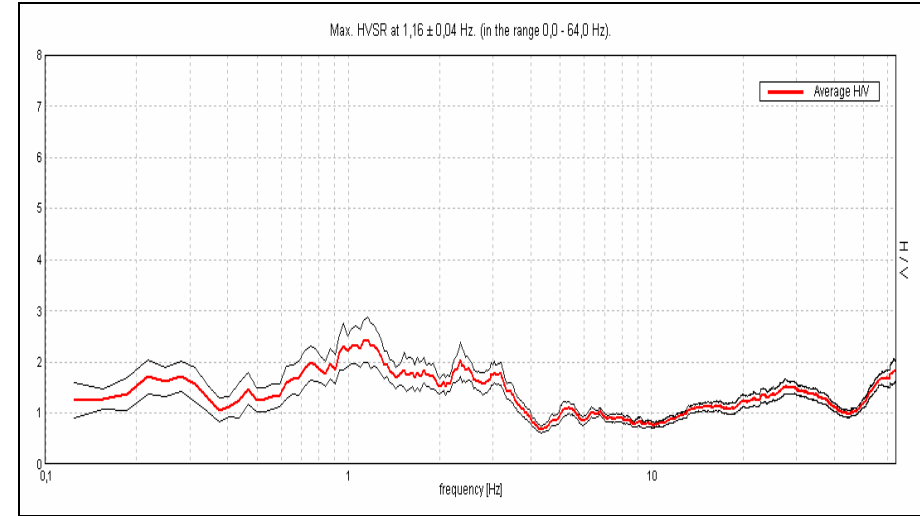
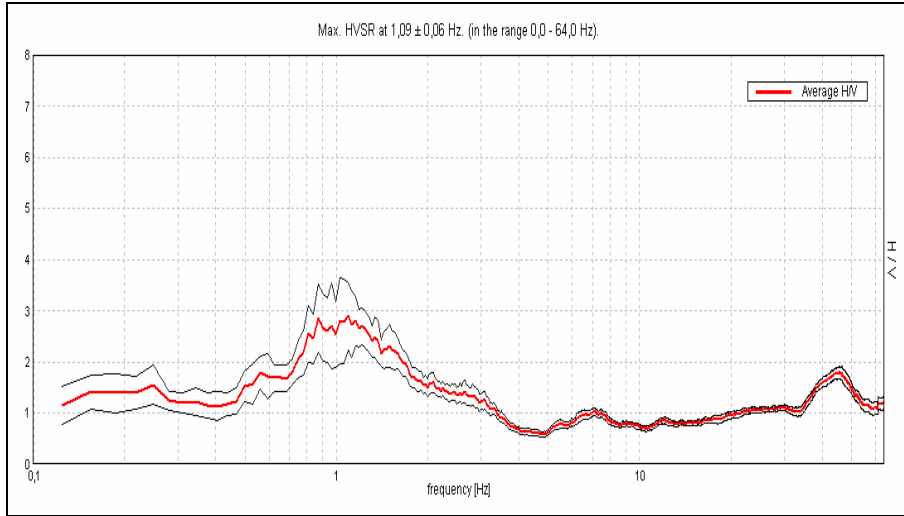
Castel Maggiore -Via Bondanello-Tr 13

Castel Maggiore-Via san Pierino-Tr 14



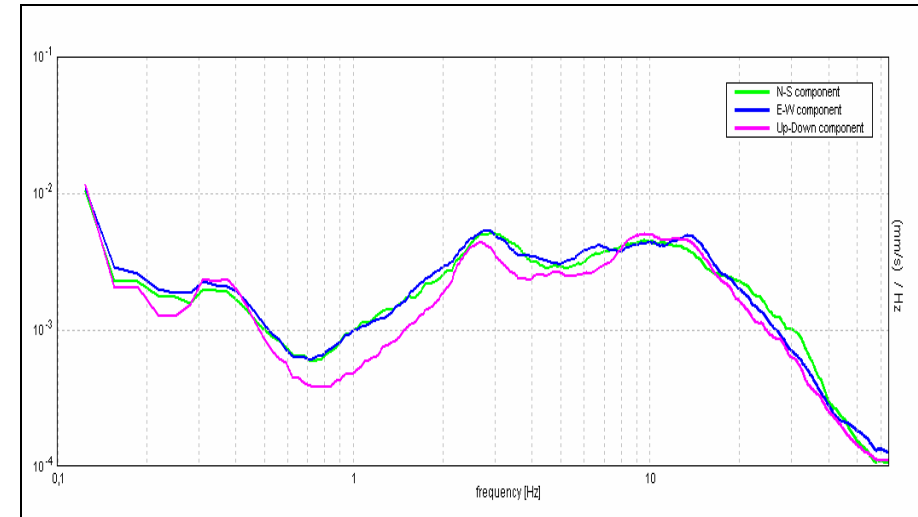
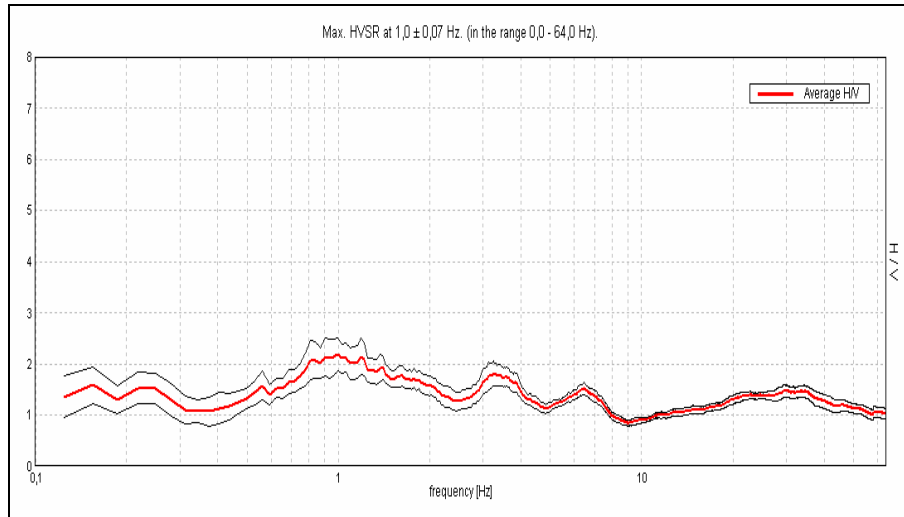
Castel Maggiore -Via san Pierino-Tr 15

Castel Maggiore-Via Ronco-Tr 16



Castel Maggiore –Trebbo di Reno-Via Lame-Tr 17

Castel Maggiore-Trebbo di Reno-Via Resistenza-Tr 18



Castel Maggiore –Trebbo di Reno-Via di Corticella-Tr 19

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Normativa di riferimento: ASTM D5311/92

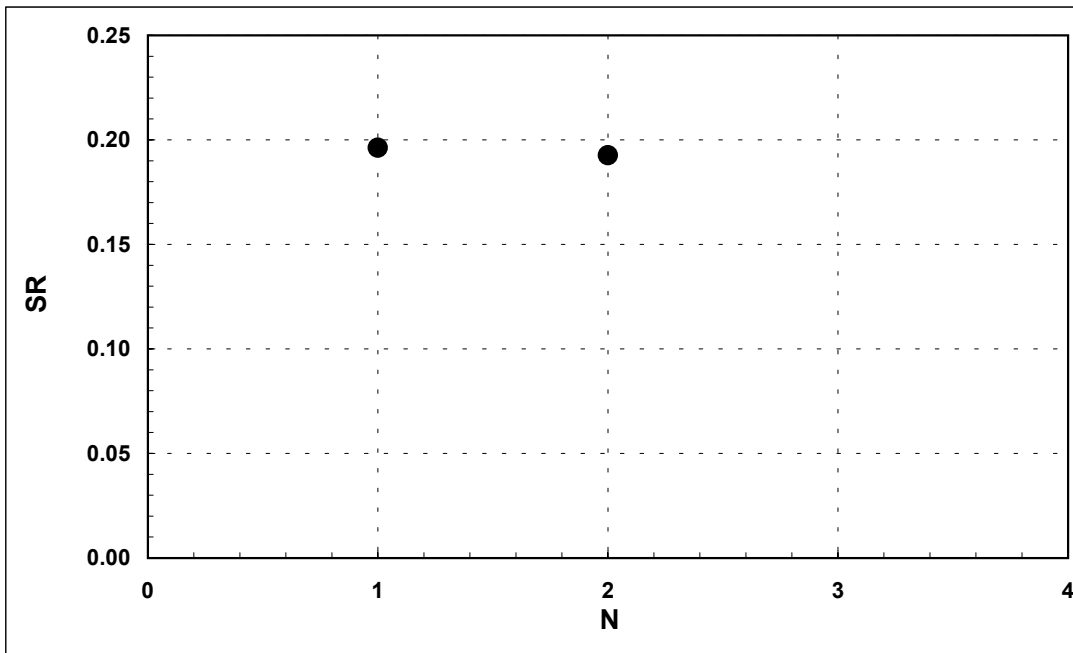
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 073/2007

Committente:	STUDIO VIEL
Cantiere:	CASTEL MAGGIORE
Sondaggio:	CST1
Campione:	C4
Profondità prova [m]:	10.00 - 10.40
Prova:	CTxS CIU
Provino:	1
Data prova:	07/12/07

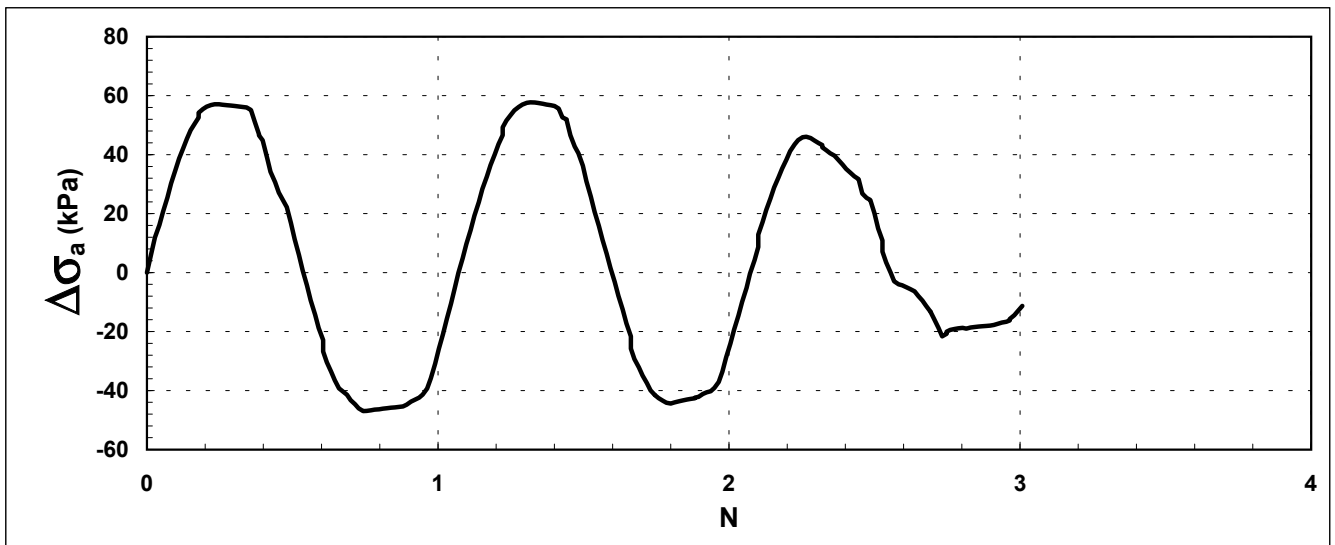
Dati generali

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione								Dati fase ciclica		Metodo di preparazione - tipo di materiale
D	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ϵ_a	ϵ_v	e	f	forma carico	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	%	%	-	Hz		
50.00	99.25	14.97	8.0	0.911	132.3	132.6	1.00	500.45	0.92	2.8	6.6	0.7848	0.25	sinusoidale	Ricostruito, compattazione umida in 4 strati



Legenda:

- D = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ = tensioni totali
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ'_r / σ'_a a fine consolidazione
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- ϵ = deformazioni
- f = frequenza del carico ciclico
- Ru = rapporto pressione interstiziale
- N = numero di cicli
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- Subscritto 'v' = volumetrica



Definizioni:

$SR = \Delta\sigma_a / (2 \cdot \sigma'_r)$

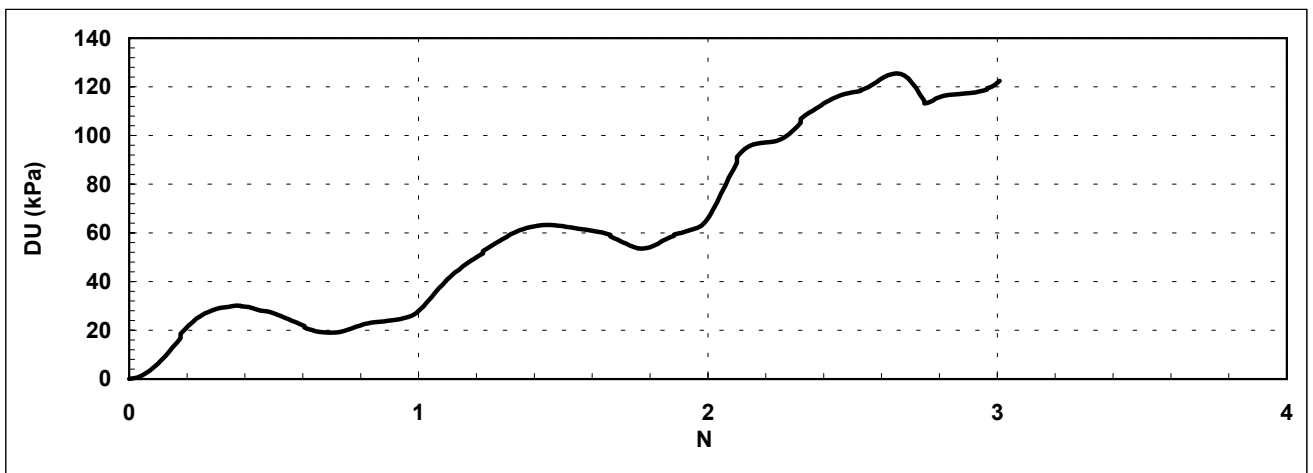
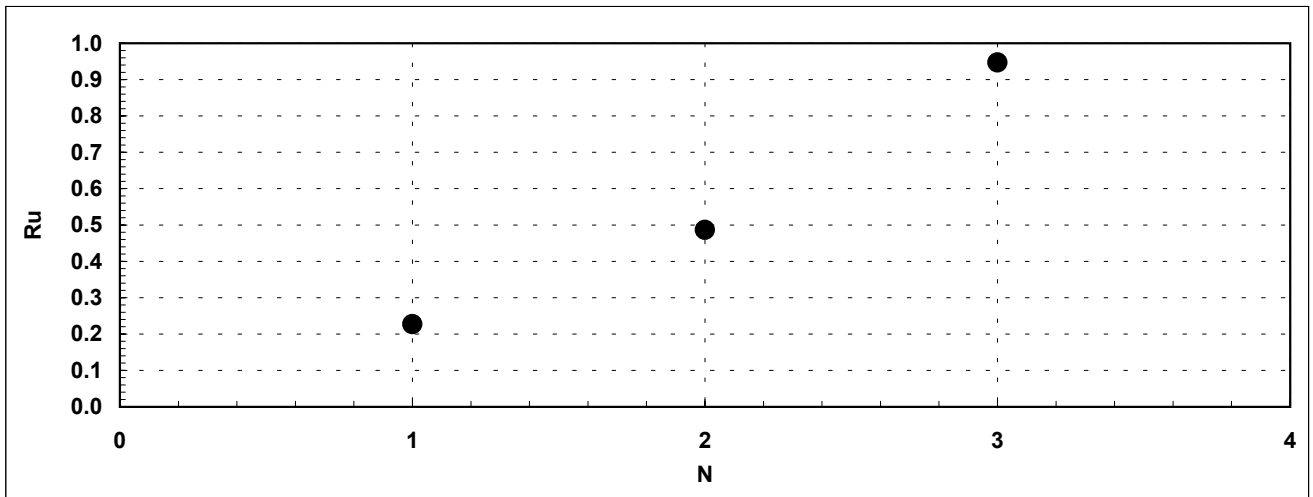
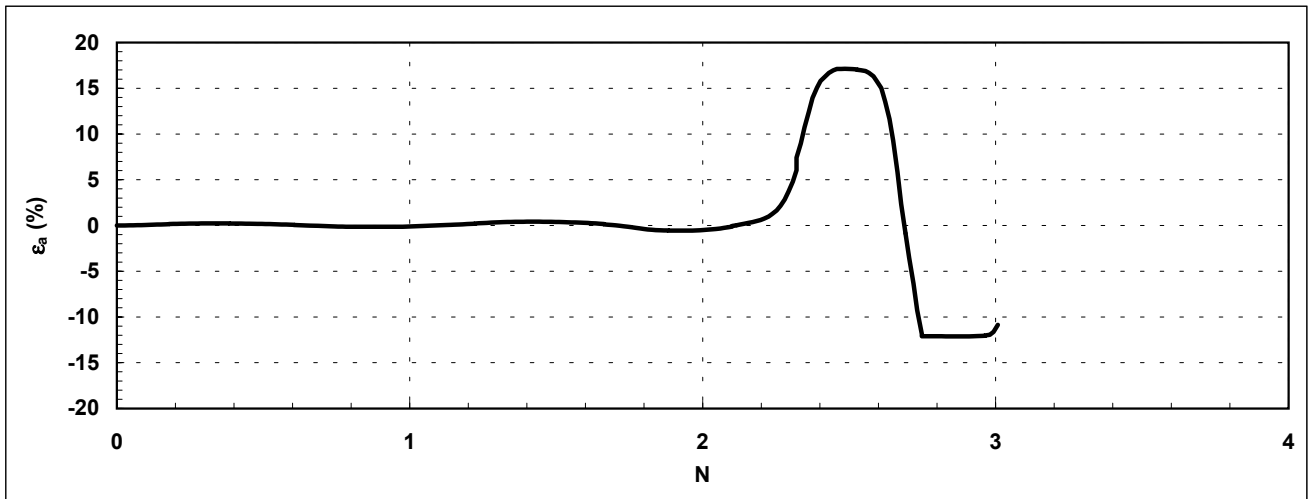
$Ru = \Delta U_{max} / \sigma'_r$; (ΔU_{max} = valore massimo della ΔU raggiunto in ogni ciclo)

Note:	
-------	--



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Committente:	STUDIO VIEL
Cantiere:	CASTEL MAGGIORE
Sondaggio:	CST1
Campione:	C4
Profondità prova [m]:	10.00 - 10.40
Prova:	CTxS CIU
Provino:	1
Data prova:	07/12/07



Note:	
-------	--



Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Direttore
0	18/12/07	Saccenti	Fioravante

Procedura di riferimento: PT-LMT-159/01

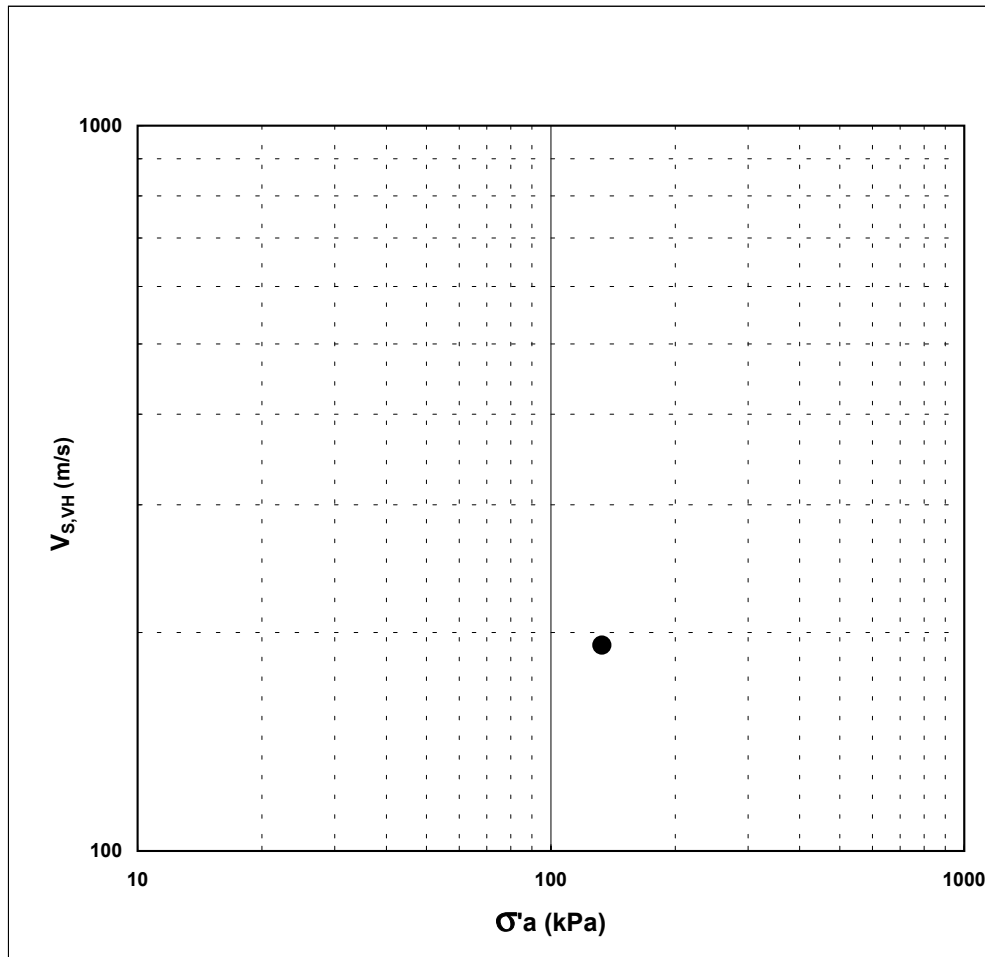
N° verbale di accettazione: 073/2007

Numero certificato di prova:

Committente: STUDIO VIEL
Cantiere: CASTEL MAGGIORE
Sondaggio: CST1
Campione: C4
Profondità prova [m]: 10.00-10.40
Prova: VTL
Provino: 1
Data prova: 07/12/07

TIPO DI ONDA: SVH (onda di taglio propagata in direzione verticale)

misura	Dati del provino										Dati relativi alla misura				
	σ'_a kPa	σ'_r kPa	t_{rv} min	p' kPa	q kPa	OCR	ρ g/cm ³	w %	e -	f kHz	D mm	t μ s	$V_{S,VH}$ m/s	G_{VH} MPa	
1	133	133	-	133.0	0.0	-	1.952	-	0.785	10.0	93.780	488.0	192.2	72.1	



Legenda:

- σ, σ' = tensioni totali ed efficaci
- $p' = (\sigma'_a + 2\sigma'_r) / 3$
- $q = (\sigma'_a - \sigma'_r)$
- ρ = densità del terreno
- w = umidità del terreno
- e = indice dei vuoti
- f = frequenza onda di eccitazione
- D = distanza del percorso dell'onda
- t = tempo di percorso dell'onda
- V = velocità dell'onda elastica
- G = modulo di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- Subscritto 'S' = onda di taglio (Shear)
- Subscritto 'VH' = onda di taglio propagata in direzione verticale e con movimento delle particelle in direzione orizzontale
- OCR = grado di preconsolidazione
- t_{rv} = tempo trascorso dal raggiungimento del valore di pressione a cui si eseguono le misure

Note:

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Normativa di riferimento: ASTM D5311/92

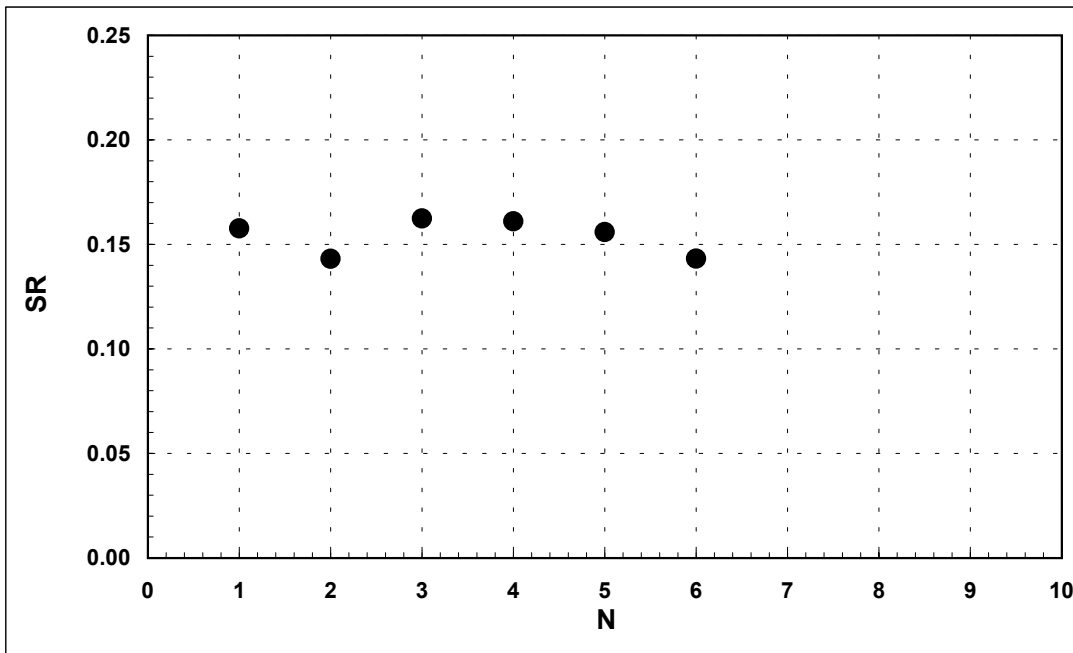
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 073/2007

Committente:	STUDIO VIEL
Cantiere:	CASTEL MAGGIORE
Sondaggio:	CST1
Campione:	C4
Profondità prova [m]:	10.00 - 10.40
Prova:	CTxs CIU
Provino:	2
Data prova:	11/12/07

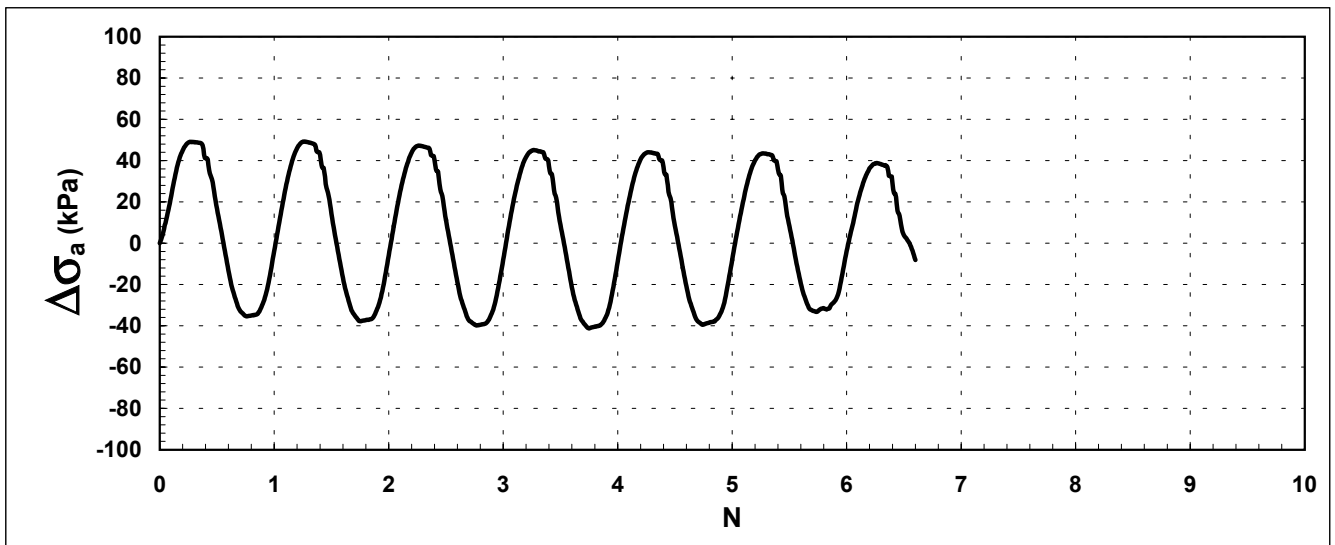
Dati generali

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione								Dati fase ciclica		Metodo di preparazione - tipo di materiale
D	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ϵ_a	ϵ_v	e	f	forma carico	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	%	%	-	Hz		
50.00	93.95	15.13	8.0	0.891	134.2	134.0	1.00	398.96	0.95	2.4	4.6	0.8047	0.25	sinusoidale	Ricostruito, compattazione umida in 4 strati



Legenda:

- D = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ = tensioni totali
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ'_r / σ'_a a fine consolidazione
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- ϵ = deformazioni
- f = frequenza del carico ciclico
- Ru = rapporto pressione interstiziale
- N = numero di cicli
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- Subscritto 'v' = volumetrica



Definizioni:

$SR = \Delta\sigma_a / (2 \cdot \sigma'_r)$

$Ru = \Delta U_{max} / \sigma'_r$; (ΔU_{max} = valore massimo della ΔU raggiunto in ogni ciclo)

Note:	
-------	--



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Committente:

STUDIO VIEL

Cantiere:

CASTEL MAGGIORE

Sondaggio:

CST1

Campione:

C4

Profondità prova [m]:

10.00 - 10.40

Prova:

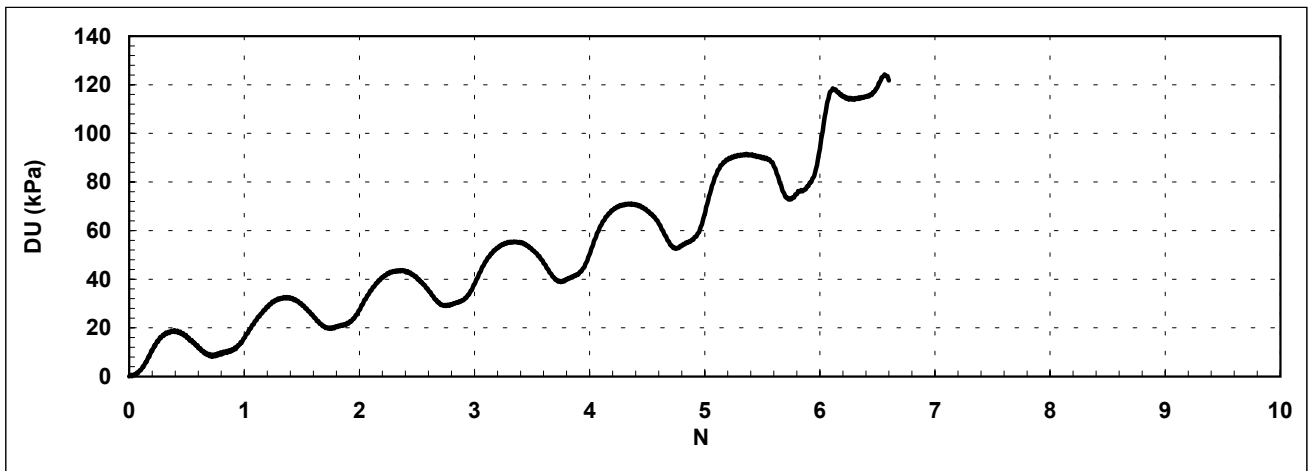
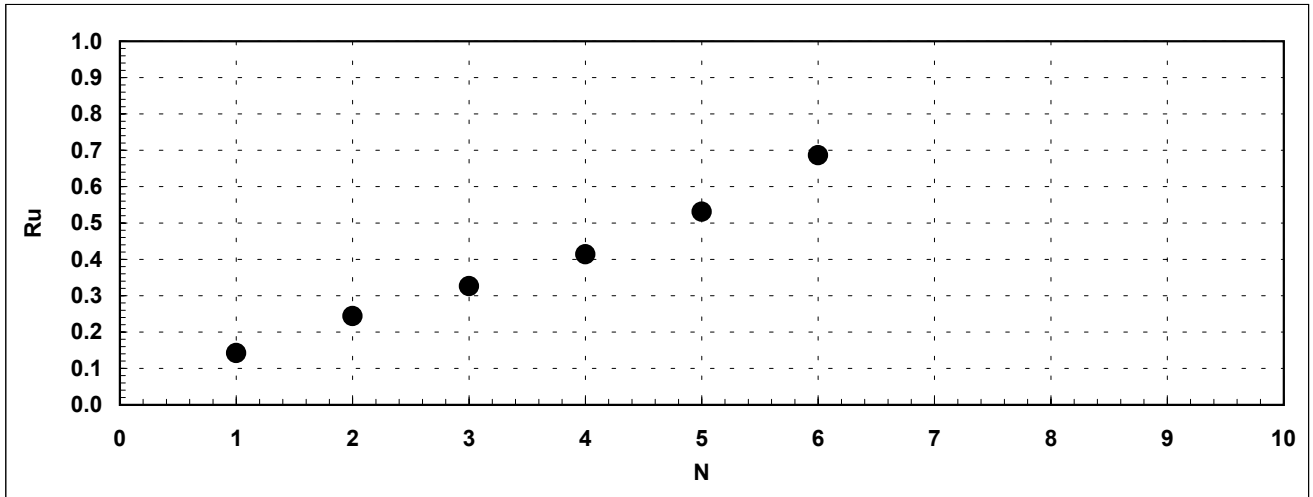
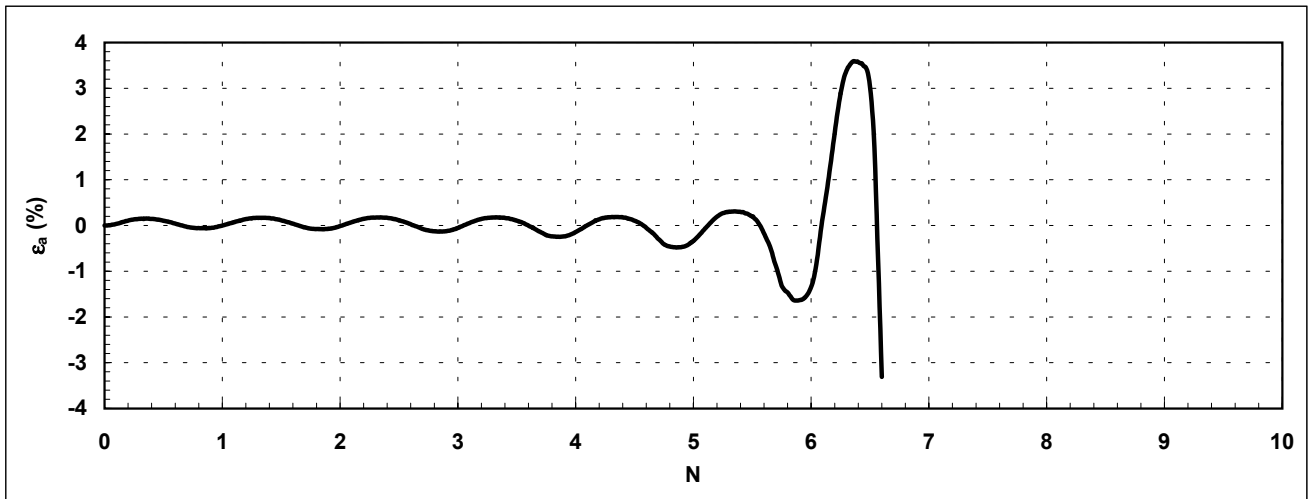
CTxS CIU

Provino:

2

Data prova:

11/12/07



Note:	
-------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Normativa di riferimento: ASTM D5311/92

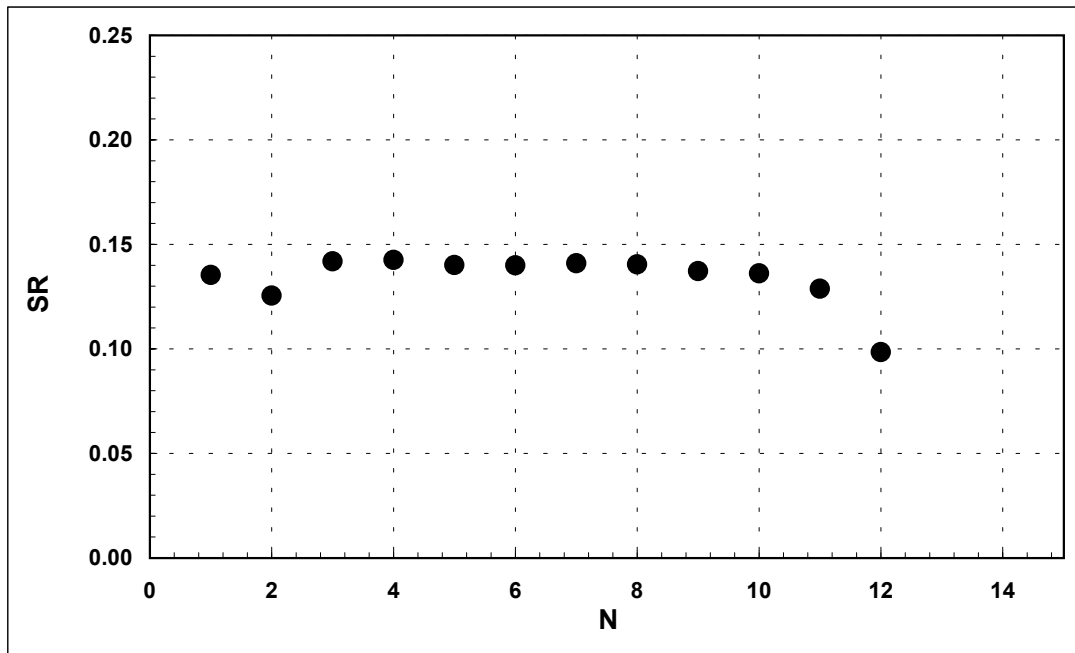
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 073/2007

Committente:	STUDIO VIEL
Cantiere:	CASTEL MAGGIORE
Sondaggio:	CST1
Campione:	C4
Profondità prova [m]:	10.00 - 10.40
Prova:	CTxS CIU
Provino:	4
Data prova:	11/12/07

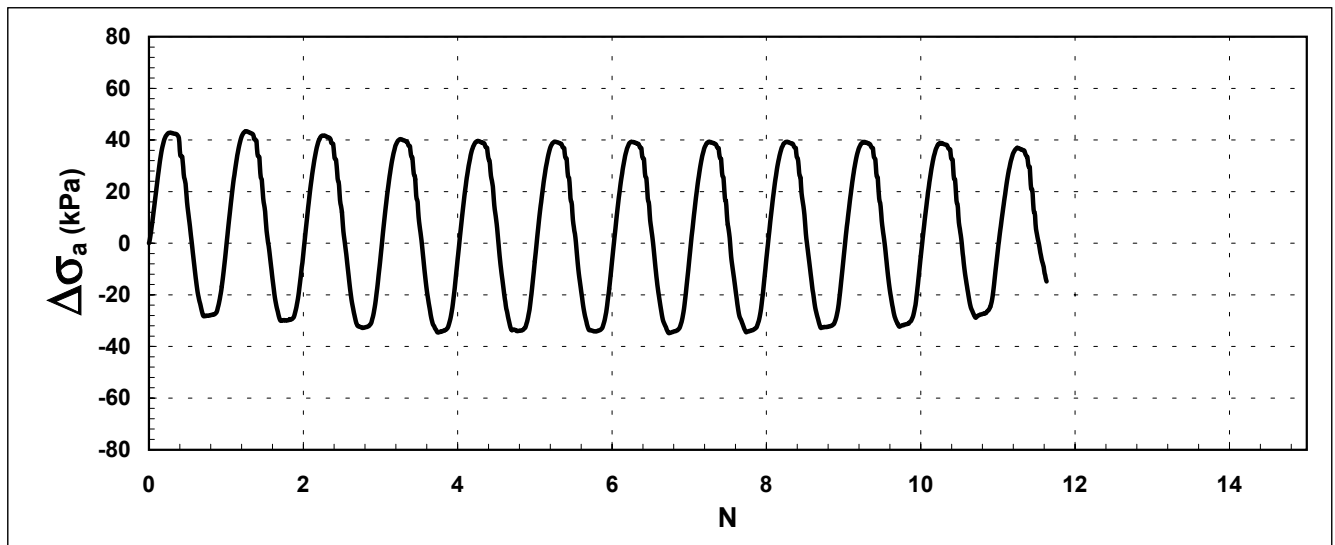
Dati generali

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione								Dati fase ciclica		Metodo di preparazione - tipo di materiale
D	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ϵ_a	ϵ_v	e	f	forma carico	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	%	%	-	Hz		
50.00	94.00	15.19	8.0	0.883	131.4	131.5	1.00	401.55	0.93	1.7	5.5	0.779	0.25	sinusoidale	Ricostruito, compattazione umida in 4 strati



Legenda:

- D = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ = tensioni totali
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ'_r / σ'_a a fine consolidazione
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- ϵ = deformazioni
- f = frequenza del carico ciclico
- Ru = rapporto pressione interstiziale
- N = numero di cicli
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- Subscritto 'v' = volumetrica



Definizioni:

$SR = \Delta\sigma_a / (2 \cdot \sigma'_r)$

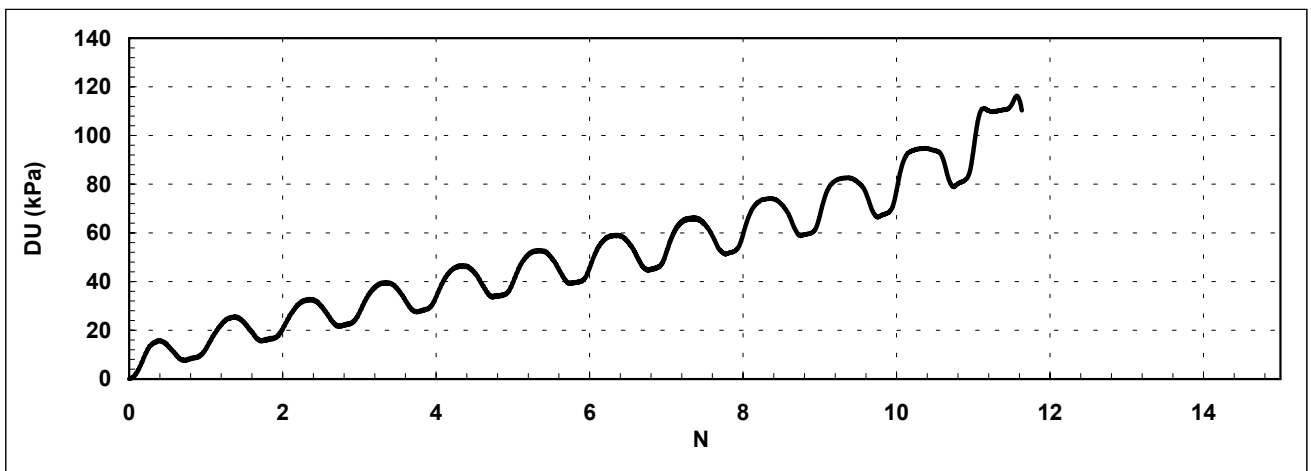
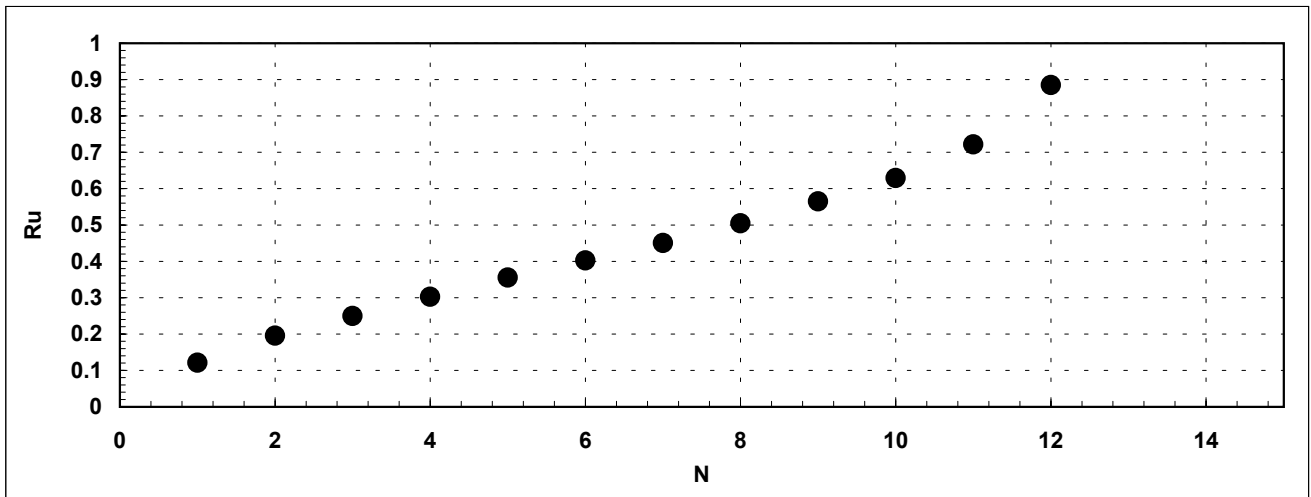
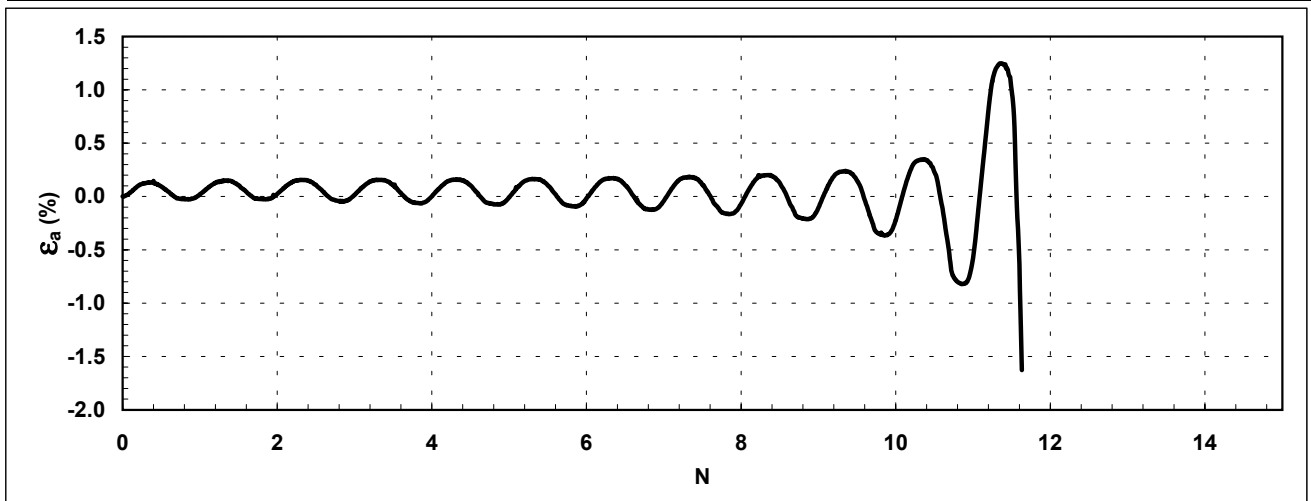
$Ru = \Delta U_{max} / \sigma'_r$; (ΔU_{max} = valore massimo della ΔU raggiunto in ogni ciclo)

Note:	
-------	--



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/07	Angeloni	Fioravante

Committente:	STUDIO VIEL
Cantiere:	CASTEL MAGGIORE
Sondaggio:	CST1
Campione:	C4
Profondità prova [m]:	10.00 - 10.40
Prova:	CTxS CIU
Provino:	4
Data prova:	11/12/07



Note:	
--------------	--