



**Comuni di Castenaso, Ozzano dell'Emilia, San Lazzaro di Savena
Provincia di Bologna**

P S C

PIANO STRUTTURALE COMUNALE IN FORMA ASSOCIATA

(L.R. 24 marzo 2000, n. 20 - art. 28)

QUADRO CONOSCITIVO SISTEMA AMBIENTALE E NATURALE

Elaborato Ca.B.1.5.REL RELAZIONE GEOLOGICA MICROZONAZIONE SISMICA

Adozione D.C.C. n 32 del 21/05/2008

Approvazione D.C.C. n 1 del 14/01/2009

ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE VALLE DELL'IDICE

Presidente: MARIA GRAZIA BARUFFALDI

CASTENASO

il Sindaco
MARIA GRAZIA
BARUFFALDI

l'Assessore all'Urbanistica
MAURIZIO PIRAZZOLI

OZZANO DELL'EMILIA

il Sindaco
LORETTA
MASOTTI

l'Assessore all'Urbanistica
LORETTA MASOTTI

SAN LAZZARO DI SAVENA

il Sindaco
MARCO
MACCIANTELLI

l'Assessore all'Urbanistica
LEONARDO SCHIPPA

Responsabili di progetto:

Rudi FALLACI (Tecnicoop soc coop)
Roberto FARINA (OIKOS Ricerche srl)

Ufficio di Piano

Monica CESARI (Coordinamento)
Maura TASSINARI
Angelo PREMI
Claudia NICODEMO

GRUPPO DI LAVORO

Responsabili di progetto:

Arch. Rudi FALLACI (Tecnicoop)
Ing. Roberto FARINA (OIKOS Ricerche)

Tecnicoop s.c.:

Arch. Luca Biancucci
Dott. Paolo Trevisani
Dott. Agr. Fabio Tunioli
Arch. Giulio Verdini
Geom. Sabrina Guizzardi
Dott.ssa Michela Scapoli
(elaborazioni cartografiche)

OIKOS Ricerche s.r.l.:

Ing. Alessandra Carini
Dott. Urb. Francesco Manunza
Arch. Elena Lolli
Geom. Antonio Conticello
(elaborazioni cartografiche)
Fabio Molinari
Concetta Venezia (editing)

Aspetti geologici:

Studio Viel&Sangiorgi

Geol. Giovanni Viel
Geol. Samuel Sangiorgi
Geol. Venusia Ferrari

Mobilità e traffico:

TPS Associazione Professionale

Ing. Stefano Ciurnelli
Ing. Guido Francesco Marino
Ing. Giancarlo Bocchini
Arch. Jacopo Ognibene
Ing. Giovanni Spagna

Rete idrica:

Ingenia s.r.l.

Ing. Alessandra Piani
Ing. Stefano Melotti
Ing. Fabio Andreaus
Dott.ssa Beatrice Daghia

Flora, fauna e reti ecologiche:

Ecosistema s.c.

Andrea Serra
Alessandro Dall'Alpi
Maurizio Sirotti
Roberto Tinarelli
Carla Lamego

Ufficio di Piano

Arch. Monica CESARI (Coordinamento)
Geom. Maura TASSINARI
Arch. Angelo PREMI
Arch. Claudia NICODEMO

Uffici Tecnici Comunali

Ing. Fabrizio Ruscelloni
Geom. Andrea Matteuzzi
Geom. Maurizio Bergami
Geom. Oronzo Filomena
Dott. Paolo Carini
Ing. Deborah Cavina
Geom. Cosetta Giovannini
Ing. Luca Bellinato
Geom. Virginia Lodi
Geom. Leonardo Altilia
Geom. Fabrizio Lombardo

INDICE

1 – MICROZONAZIONE SISMICA.....	1
1.1. – Introduzione	1
1.2. – Indagini geognostiche e sismiche	2
1.3 – Paleogeografia e liquefazione.....	6
1.4. – Pericolosità sismica locale	9
1.4.1 – Il quadro normativo di riferimento.....	9
1.4.2. – Obiettivi dell'indagine sismica	12
1.4.3. – Definizione delle Vs30 e della “categoria di sottosuolo di fondazione”	13
1.4.4. – Amplificazione locale	14
1.4.5. – Verifiche della suscettibilità alla liquefazione	18
1.4.5.1. – Prove geognostiche in sito.....	18
1.5. – Microzonazione e proposta normativa	24
1.5.1 – Morfologia.....	24
1.5.2. – Liquefazione	24
1.5.3. – Proposta normativa	26

ALLEGATI

1 – MICROZONAZIONE SISMICA

1.1 – INTRODUZIONE

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

- assetto morfologico e strutturale generale;
- campo di moto dell'insieme di falde più superficiali, riconoscimento e delimitazione dei bacini di drenaggio sotterranei;
- 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);
- cenni sulla subsidenza;
- pericolosità di versante (movimenti di gravità noti) valutata sulla stima dell'energia esprimibile dalla frana stessa (magnitudo);
- 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 (V_s).

Il quadro normativo del PS Associato rimanda infatti alla fase di elaborazione dei POC/PUA la formazione di una cartografia di microzonazione sismica in grado di fornire esiti locali di risposta sismica (amplificazione). Ciò detto, 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 Castenaso, inserito nella "zona 3" di pericolosità sismica (ai sensi della nuova classificazione Opcm 3274/2003), l'approvazione del PS comunale, deve quindi essere subordinata anche all'elaborazione di cartografie di microzonazione di <<secondo livello>>.

In questo senso, la presente relazione costituisce, per il Comune di Castenaso, l'integrazione ed il completamento del lavoro già svolto per il PS Associato in merito alla caratterizzazione sismica (pericolosità e microzonazione) delle aree di previsione urbanistica e dei principali nuclei urbani e produttivi già consolidati.

1.2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE

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

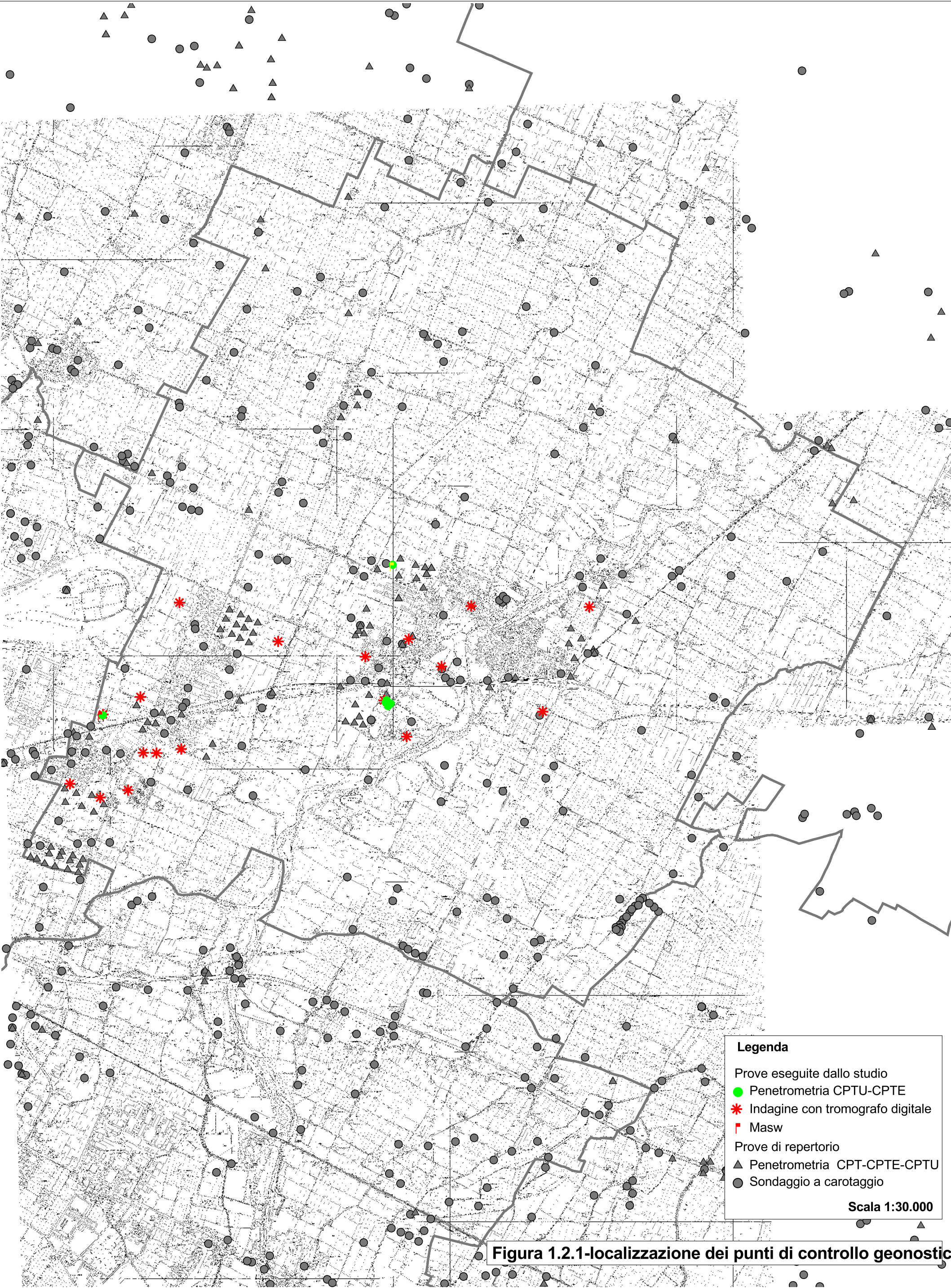
a) Prove eseguite per questo lavoro:

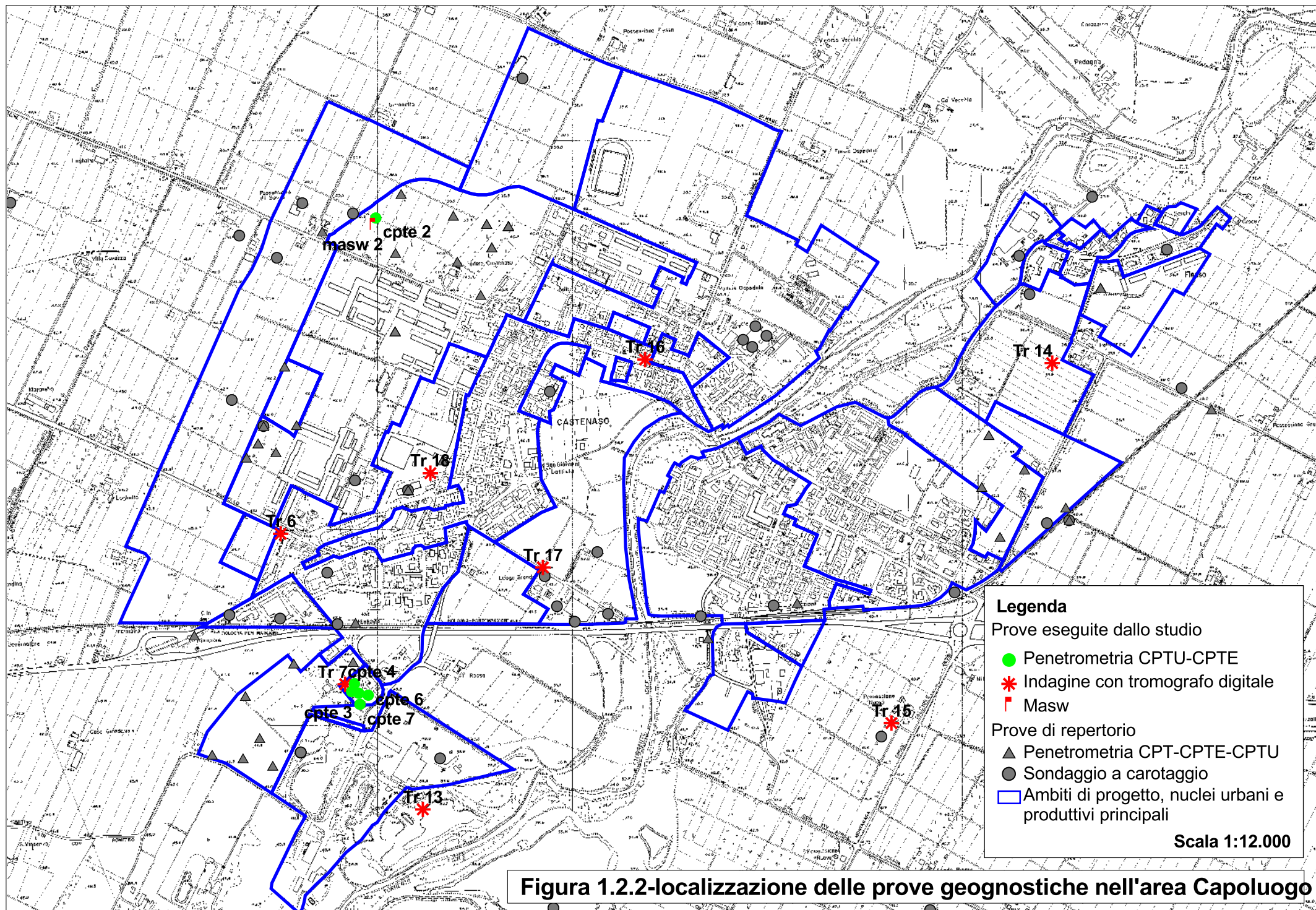
- due prove penetrometriche CPTU con puntale "Gouda" di dimensioni standard e dotata di setto poroso per la valutazione delle sovrappressioni interstiziali. L'acquisizione dei dati avviene ogni 2 cm di avanzamento e le prove sono state spinte fino a 30 metri dal p.c. I dati di penetrazione (Q_c , f_s) 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;
- 2 Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) per il calcolo della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (V_s), utile per la classificazione del sottosuolo di fondazione prevista dalla normativa vigente. La masw è una metodologia non invasiva che utilizza le onde di Rayleigh, componente principale delle onde superficiali, e per questo poco soggetta ai rumori ambientali; l'analisi delle onde S viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma. La strumentazione utilizzata è composta dal sismografo a 24 canali << Abem-Ras-24>> con convertitore del segnale A/D a 24 bit. Lo stendimento è stato configurato con 24 geofoni da 4,5 Hz, posti alla distanza di 1m. La sorgente di rumore è stata fornita da tre colpi su una piastra con una mazza battente da 10 Kg, alle seguenti distanze dal primo geofono dell'allineamento: 5m – 12m - 17m. L'acquisizione dei dati è avvenuta con doppia registrazione con tempi di 4 secondi ed un intervallo di campionamento rispettivamente di 1ms e 2ms;
- 18 indagini con tromografo digitale → misure puntuali speditive ad alta risoluzione, del microtremore sismico, finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con una doppia frequenza rispettivamente di 128 Hz e 256 Hz e con un tempo di registrazione di 14 minuti;

b) Prove di repertorio:

- sondaggi a carotaggio → recuperati dalla Banca Dati geognostica della Regione Emilia-Romagna, e dall'archivio dello Studio scrivente;
- prove penetrometriche CPT, CPTE, CPTU → ancora desunte dalla B/D geognostica della R.E.R e dalla B/D dello Studio scrivente.

Le figure 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 localizzano i punti di controllo utilizzati per questo lavoro, mentre in appendice al testo si allegano grafici, tabelle e certificati dei risultati delle prove effettuate.





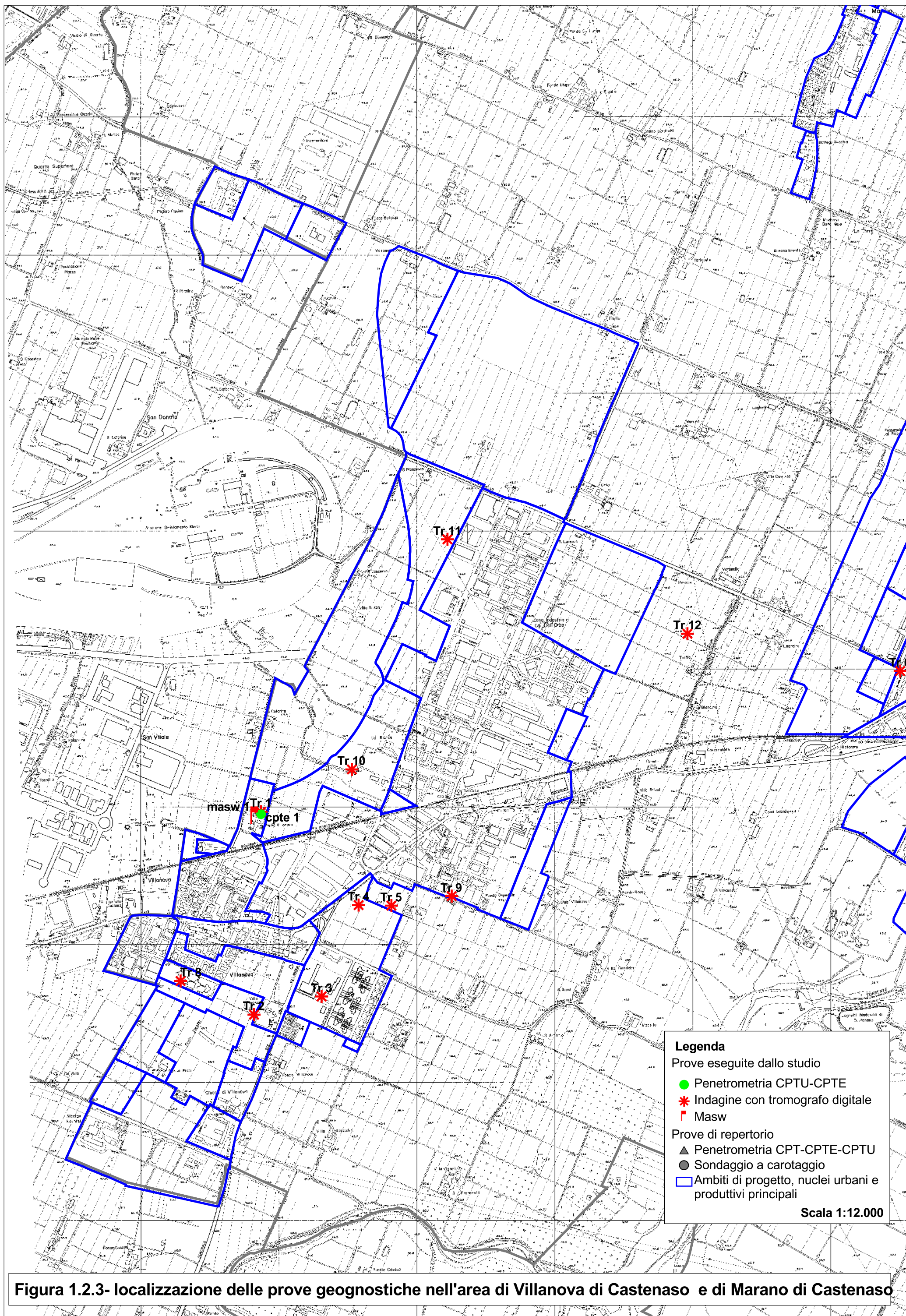


Figura 1.2.3- localizzazione delle prove geognostiche nell'area di Villanova di Castenaso e di Marano di Castenaso

1.3 – PALEOGEOGRAFIA E LIQUEFAZIONE

La ricostruzione paleogeografica di sottosuolo, che rappresenta comunque una approssimazione della realtà per la rarefazione dei punti di controllo, ipotizza la presenza di ampie zone con possibilità di liquefazione; tra queste il Capoluogo e buona parte della Zona Industriale di Cà dell'Orbo. Le verifiche effettuate per l'elaborazione più dettagliata del PSC hanno permesso di proporre nuove delimitazioni delle aree con possibilità di liquefazione, come riportato nella figura 1.5.1, e nelle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b.

Le verifiche effettuate e le proposte di nuove delimitazioni presentate dalla figura 1.5.1 e dalle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b costituiscono variazione dell'elaborato Ca.B.1.4 intitolata <Zonizzazione sismica> del Quadro Conoscitivo dell'Associazione Valle Idice.

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

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

- Youd e Perkins, 1978 – hanno composto una tabella che sintetizza i dati raccolti durante terremoti “strong motion” dell’area di S. Diego (California), da cui risulta che i sedimenti deposti da corsi d’acqua (piana alluvionale di esondazione, canale fluviale, delta fluviali, estuari) dimostrano una probabilità di liquefazione da alta a molto alta se di età minore di 500 anni o Olocenica, gli stessi depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno invece una “bassa” probabilità di liquefarsi. Cioè l’osservazione dimostra che sono solamente i sedimenti di deposizione recente (olocene) e recentissima (meno di 500 anni) a presentare un’alta pericolosità per la liquefazione;
- Mori et Al, 1978 – dimostrano che la suscettibilità alla liquefazione decresce nei sedimenti di età maggiore di 500 anni, con scarti anche molto alti (maggiori del 50%). Tolno, 1975 dimostra l’incremento di densità secca (stato di addensamento) del sedimento in relazione all’aumento di vetustà (dall’Olocene al terziario);
- Iwasaki et Al, 1982 – dimostrano per terremoti giapponesi la correlazione diretta tra probabilità di liquefazione e letti di fiumi recenti e antichi;
- CNR, 1983 – ripropone la correlazione diretta tra sedimenti fluviali e deltizi continentali ed età del deposito (i più recenti sono più suscettibili alla liquefazione).

In conclusione la letteratura geologica, ormai ben consolidata e verificata, indica che le maggiori probabilità di liquefazione si hanno nei sedimenti granulari saturi recenti e recentissimi. Ciò significa che gli alvei abbandonati e sepolti possono costituire fonte di pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo modesta come quelli previsti per il territorio bolognese ($M=5,5$). I canali abbandonati dell’Idice di età da romana (2.000 anni) fino ai più recenti depositi del XIII secolo, possono costituire fonte di pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo modesta ($M = 5,5$).

I corpi granulari ipotizzati dovrebbero corrispondere ad alvei di bankfull, i cui limiti

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

La ricostruzione delle geometrie dei paleoalvei viene realizzata sulla scorta delle conoscenze di sottosuolo già acquisite, in particolare derivate dagli archivi di prove geognostiche (Banca dati della Regione Emilia-Romagna, archivi dei comuni, inventario dello stesso Studio scrivente). La figura 1.3.1 propone un'ipotesi di ricostruzione paleogeografica: sono raffigurati due paleoalvei, presenti nei primi 15 metri di sottosuolo, riconducibili ad antichi percorsi del fiume Idice, per quanto riguarda il Capoluogo, dei Torrenti Savena-Zena per la frazione di Villanova di Castenaso (Zona industriale di Cà dell'Orbo) e la porzione ovest del Capoluogo.

Le indagini geologiche svolte per il presente lavoro si sono concentrate attorno alle aree indicate nel PSC, che costituiranno i futuri POC/PUA, e come si desume in figura 1.3.1 è possibile esistano porzioni di territorio (la porzione sud ovest e nord ovest del Capoluogo; parte della zona industriale di Cà dell'Orbo nella frazione di Villanova di Castenaso) in cui si possono incontrare sedimenti granulari saturi, nell'intervallo di profondità pericoloso. Certamente la distanza dalla sorgente dei clasti (Appennino) è inversamente proporzionale alla propensione alla liquefazione, per aumento delle componenti fini.

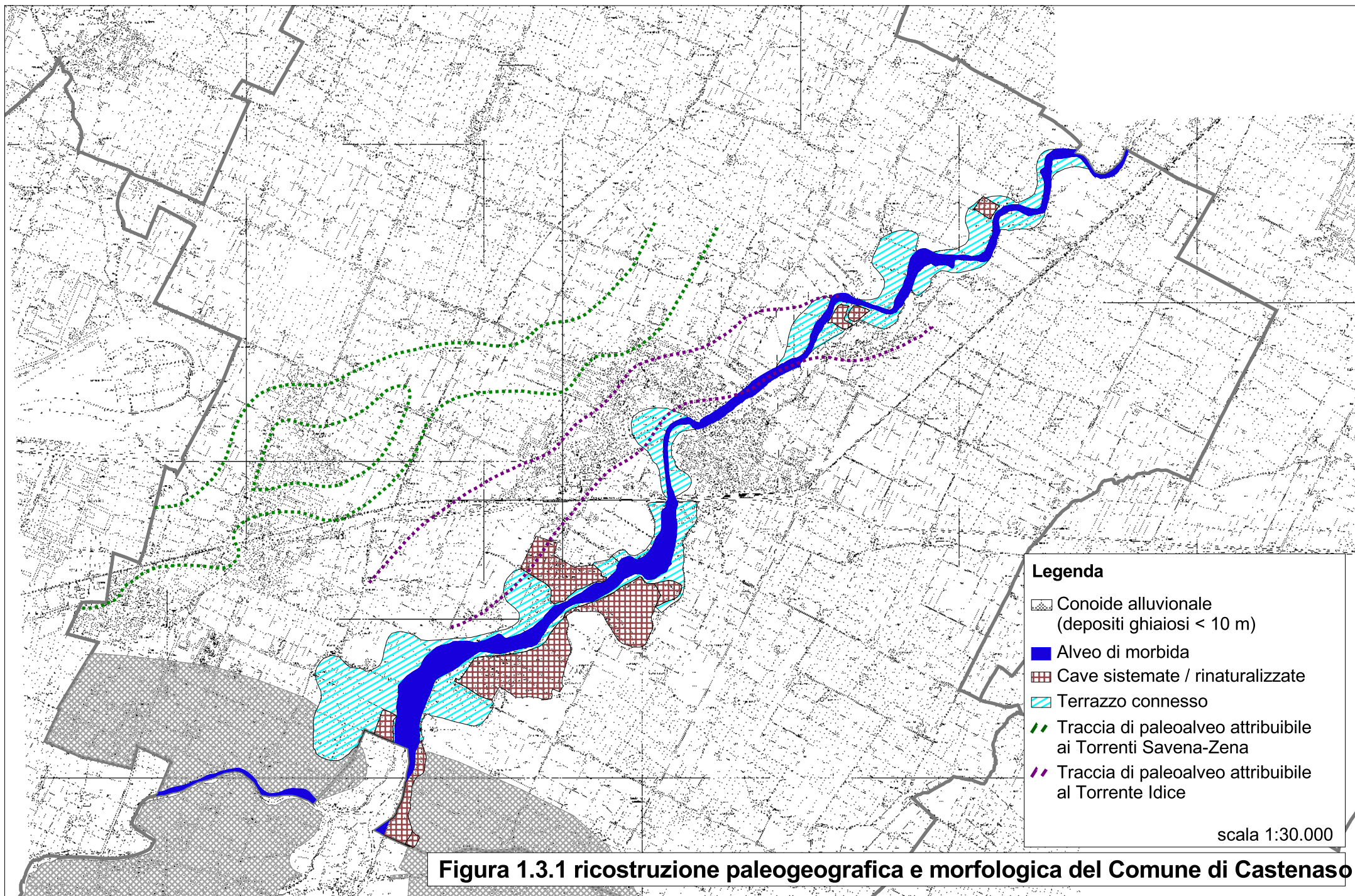
Il territorio comunale esterno ai percorsi ricostruiti degli antichi alvei del fiume Idice e dei Torrenti Savena-Zena, indicati nella figura 1.3.1 e nelle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b appare ad oggi, sulla scorta delle informazioni finora note, privo di sabbie sature in cui possano verificarsi processi reologici e quindi anche possibile liquefazione locale.

Gli esiti delle prove tromografiche del Capoluogo e della frazione Villanova di Castenaso (Tr1, Tr 6, Tr7, Tr10, Tr16), indicano, nell'intervallo compreso tra 7 e 2 Hz ($7 \div 20$ m), un'amplificazione (valore indicato sull'asse delle y) inferiore ad 1; questo esito può essere indice della presenza di materiale granulare sciolto con scarse qualità meccaniche, compatibile con le sabbie indicate in figura 1.3.1 e nelle Tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b.

Al contrario le tracce relative alle prove tromografiche (Tr4, Tr5, Tr9, Tr11, Tr15, Tr17) mostrano nell'intervallo di frequenza $2 \div 10$ Hz ($30 \div 6$ m) un'amplificazione circa uguale ad 1, indice della probabile presenza, in questo caso, di materiale fine con scarse qualità meccaniche.

Inoltre gli esiti relativi alle tromografie Tr2, Tr3, Tr8, Tr13, Tr14, sempre eseguite nel Capoluogo e nella frazione di Villanova di Castenaso, indicano la presenza di un picco di amplificazione, alla frequenza di circa 20-30 Hz, maggiore di 2 indice della presenza di materiale grossolano quale le ghiaie attribuibili alla conoide del Torrente Savena, vedi figura 1.3.1.

Infine nelle prove tromografiche ad una frequenza di $0,7 \div 0,8$ Hz si rileva un importante picco con amplificazione di circa 2, che confermerebbe la presenza del bedrock sismico ad una profondità di $80 \div 100$ m.



1.4 – PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

1.4.1 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, infine dalle recentissime nuove Norme Tecniche per le costruzioni con D.M. del 14/01/2008). Alla legislazione 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 indicato nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo stabilendo in questo senso:

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

L'OPCM 3274/2003, non è mai entrata in vigore, ma le classificazioni sono state riprese nel D.M. 159/2005 e nell'ultimo D.M. 14/01/2008. La tabella sottostante, riassume la classificazione del sottosuolo, secondo le citate “categorie”:

CATEGORIA SOTTOSUOLO 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			

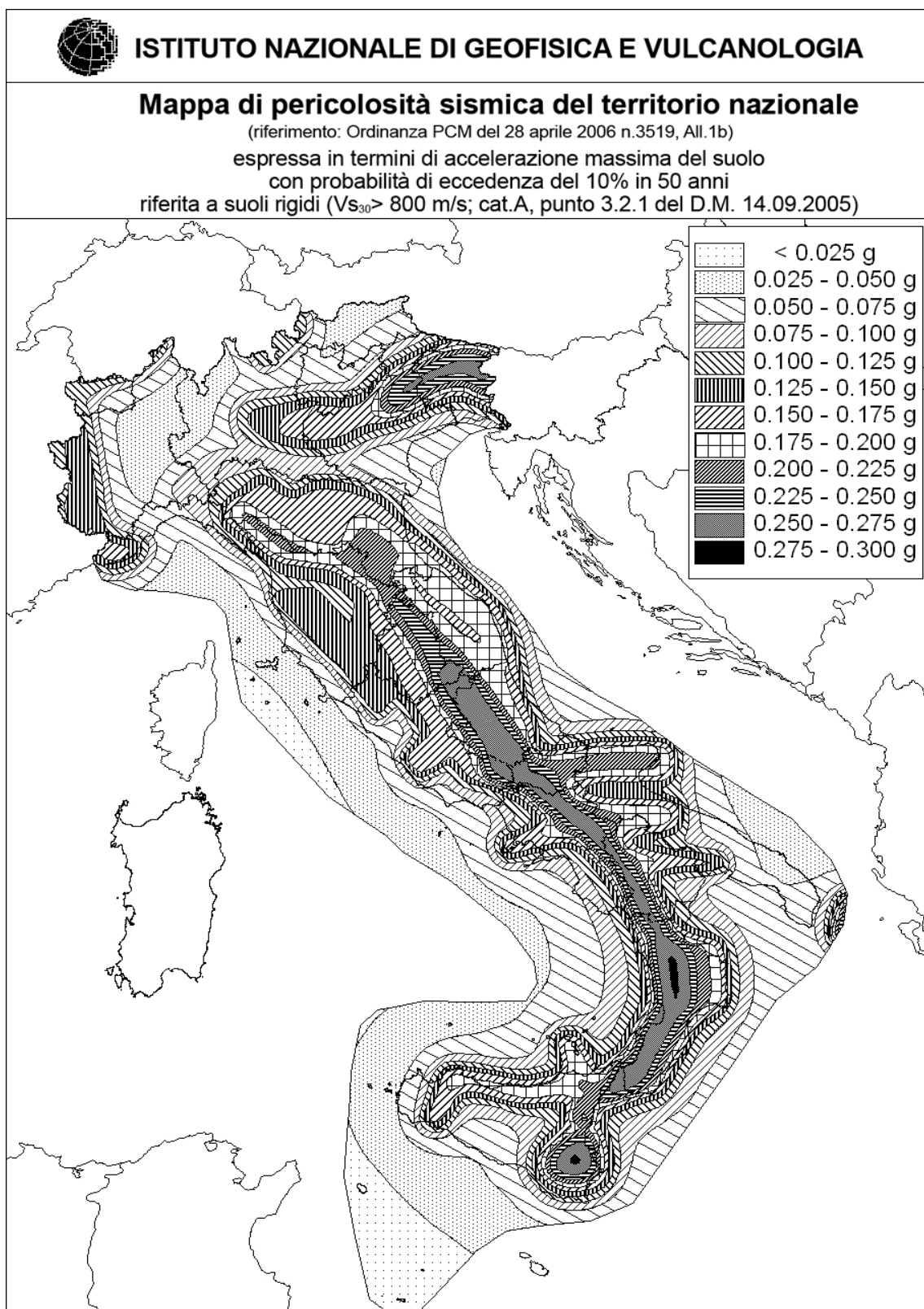


Figura 1.4.1 – Mapa della pericolosità sismica del territorio nazionale, pubblicata nell' dall'Ordinanza PCM. n. 3519/2006

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 1.4.1) e della seguente tabella che attribuisce i valori di a_g orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta, così come riportato nelle precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni del 2005 (D.M. 159/2005).

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	$\leq 0,05 g$	$0,05 g$

In pratica, per effetto del periodo transitorio di applicazione e delle successive proroghe, il D.M. 159/2005 è risultato vigente soltanto per pochi giorni, sostituito dall'entrata in vigore (dal 5 marzo 2008, anch'esso in "regime transitorio") delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008). Queste ultime norme impongono nuovi e precisi criteri prestazionali di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" sopra citate e della definizione di una <<pericolosità di base>> fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_c). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

In questo contesto nazionale così dinamico ma anche molto incerto, la Regione Emilia-Romagna, ha elaborato ed approvato (con Delibera Regionale n. 112 del maggio 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_{gref} 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:

- 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;
- la seconda fase di studio deve giungere alla valutazione della risposta sismica locale ed alla microzonazione del territorio. E' richiesta per l'approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale; 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:
- 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).
- 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 T_r di 475 anni con smorzamento del 5%) riferiti alle aree da indagare, e si dovranno elaborare le <<mappe di amplificazione>> in termini di rapporti PGA/PGA_0 e SI/SI_0 .

1.4.2 Obiettivi dell'indagine sismica

Scopo di questo studio è quello di produrre la microzonazione sismica delle aree insediate e di futuro POC del territorio comunale di Castenaso.

Ad integrazione delle analisi conoscitive per il PSC in forma associata dell'associazione "Valle Idice" lo Studio scrivente ha prodotto la cartografia preliminare

di zonazione della pericolosità sismica <<Elaborato Ca.B.1.4 Zonizzazione sismica>>. 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 ha prodotto una zonazione del territorio dell'Associazione Comunale secondo la classificazione in <<categorie di suolo di fondazione>> (DM 159/2005) ed una zonazione della pericolosità che tiene conto dei possibili effetti di sito (aree con potenziale propensione alla liquefazione/densificazione).

Sulla scorta della preliminare stima della pericolosità sismica ricavata con la prima fase di studio, e tenuto conto che il Comune di Castenaso 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 emerge che i fusi granulometrici delle sabbie recuperate da sondaggi di letteratura, eseguiti per vari scopi getecnici, ed effettuati nel Comune di Castenaso, ricadono entro l'area di <<liquefazione potenziale dei sedimenti saturi>> in realtà nella carta di zonizzazione sismica del PSC si parla di liquefazione potenziale dei sedimenti (AGI, 2005 e figura 5 delle "Note integrative al Quadro Conoscitivo – Relazione Geologica"). Così per la microzonazione sismica del Comune di Castenaso si è tenuto conto della presenza di questi sedimenti granulari e della loro pericolosità proponendo una delimitazione dei paleoalvei, fino ad una profondità di circa 20 m, del fiume Idice e dei Torrenti Savena e Zena, la più accurata possibile (vedi figura 1.3.1).

La microzonazione è stata effettuata sulla base della variazione locale di due insiemi di parametri fondamentali: definizione delle V_s e del bedrock sismico, accertamento della liquefacibilità delle sabbie sature entro i primi 20 metri dal p.c.

1.4.3 Definizione delle V_{s30} e della "categoria di sottosuolo di fondazione"

Per derivare le variazioni di V_{s30} nel territorio comunale e quindi la <<categoria di sottosuolo di fondazione>> nelle diverse zone, sono stati programmati i punti di controllo ed i diversi strumenti di indagine indicati nel § 1.2. La qualità delle informazioni di sottosuolo acquisite, e la convergenza negli esiti, fornisce il grado di attendibilità della conclusione raggiunta per questo lavoro.

Le velocità delle onde di taglio riscontrate nei primi 30 metri di sottosuolo (V_{s30}) dalle prove penetrometriche eseguite, sono interne alla categoria "C", (CPTU1 $V_s=200$ m/s; CPTU 2 $V_s=233$ m/s; anche le velocità delle onde di taglio derivanti dalle prove MASW1 ($V_s=258$ m/s) MASW2 ($V_s=259$ m/s) sono riconducibili esclusivamente alla categoria di sottosuolo di fondazione "C".

L'estrapolabilità di questi dati è stata controllata con 18 prove tromografiche che confermano la correlabilità delle V_s ai territori circostanti le penetrometrie effettuate. Tutti gli esiti delle prove effettuate, compresi i diagrammi ottenuti dal tromografo digitale, sono riportati in appendice al testo in forma grafica, ed in forma numerica nel CD allegato.

Si può concludere che nelle aree indagate la categoria di sottosuolo di fondazione

mediamente ricostruita è la "C" (§ 1.4.1). Questo esito può essere esteso all'intera area urbanizzata del Capoluogo e delle frazioni di Villanova di Castenaso e Marano di Castenaso.

Questa conclusione concorda con la classificazione del territorio riportato nell'elaborato Ca.B.1.4 di integrazione al PSC Associato Valle Idice < Zonizzazione sismica>. Le tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b, allegate fuori testo, non variano quindi la tavola di zonizzazione sismica allegata al PSC associato Valle Idice anche per la delimitazione delle categorie di sottosuolo di fondazione.

1.4.4 Amplificazione locale

Lo studio svolto ha consentito la valutazione semplificata dei fondamentali parametri alla base della stima preliminare dell'amplificazione sismica locale. Per la valutazione dei necessari fattori sismici ci si è riferiti sia alle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008), tuttora non ancora vigenti bensì in regime transitorio, sia agli indirizzi regionali di microzonazione sismica (2007) che, come già scritto, sono stati recepiti anche dalla Amministrazione Provinciale.

A livello nazionale, lo studio preliminare di risposta sismica si basa sulla valutazione delle "categorie di sottosuolo" (§ 1.4.3) e sulla definizione della <<pericolosità di base>> fondata sul reticolo di riferimento (§ 1.4.1). Ciò detto, è stato utilizzato un software per la determinazione dei parametri sismici a_g , F_0 , T_c^* note le coordinate topografiche corrispondenti ai baricentri degli areali di studio (Marano di Castenaso, Villanova di Castenaso, Canova e Capoluogo), dei tempi di ritorno, della classe d'uso, della vita nominale e tipo di stato limite da considerare. Il software consente l'aggancio automatico delle coordinate inserite ai punti del reticolo più vicini. I risultati relativi al Comune di Castenaso sono evidenziati nella tabella 1.4.2.

Le variabili utilizzate per la valutazione della <<pericolosità di base>> sono:

- Classe d'uso delle costruzioni, suddivisa a sua volta in : I<< costruzioni con presenza solo occasionale di persone>>; II << costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali>>; III << costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi - industrie con attività pericolose per l'ambiente>>; ognuna delle classi sopraindicate è caratterizzata da un coefficiente d'uso C_U ;
- Vita nominale V_N variabile a seconda del caso si tratti di un'opera ordinaria o di una grande opera; nel nostro caso si è implementata una vita nominale di 50 (opera ordinaria) e di 100 anni (grande opera);
- Periodo di riferimento V_R , parametro direttamente proporzionale alla vita nominale come indicato nella formula sottostante:

$$V_R = V_N * C_U$$

- Stati limite del manufatto, riferiti alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (strutturale, non strutturale, impiantistica) nei confronti dell'azione sismica. Gli stati limite sono suddivisi in <<stati limite di esercizio>> SLO – SLD e <<stati limite ultimi>> SLV – SLC ;

- Parametri che definiscono le forme spettrali: a_g – accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e T_c^* – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per quanto riguarda la Delibera regionale, essa propone la definizione delle amplificazioni locali nei comuni inseriti in terza classe, riferendosi alle tabelle allegate, riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche (secondo livello di analisi). Ciò detto, per la stima delle amplificazioni locali, i valori delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri – V_{s30} (calcolati tramite le prove geognostiche e geofisiche eseguite e di repertorio) sono stati implementati nelle tabelle regionali ottenendo i coefficiente di amplificazione F.A. Le V_{s30} calcolate per il territorio in esame, sono riconducibili a tre differenti valori : $V_s = 200$ m/s (areali di Castenaso e Canova), $V_s = 250$ m/s e $V_s = 300$ m/s (Villanova di Castenaso e Capoluogo). Stimando il bedrock sismico a profondità inferiori a 100 metri si sono assunti i valori relativi alle tabelle <Pianura 1> (tabella 1.4.3; figura 1.5.1).

Le variabili utilizzate per la stima dell'amplificazione locale sono:

- F.A. P.G.A.: 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.
- F.A. S.I. - Intensità spettrale di Housner : indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s.

Le Tavole di microzonazione (Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b) allegate al testo, sono state elaborate sulla base dei risultati di amplificazione ottenuti in ossequio a quanto indicato dalla Delibera.

Tabella 1.4.2 – Tabella dei parametri sismici (D.M. 14/01/2008) ottenuti per gli areali di studio (segue)

Classe d'uso	Vita nominale V_N	Periodo di riferimento V_R	Stato limite	a_g	F_0	T_c
I	50	35	SLO	0.06	2.46	0.26
			SLD	0.06	2.46	0.26
			SLV	0.15	2.39	0.30
			SLC	0.19	2.40	0.31
	100	70	SLO	0.06	2.46	0.26
			SLD	0.08	2.45	0.27
			SLV	0.19	2.40	0.31
			SLC	0.24	2.42	0.317
II	50	50	SLO	0.06	2.46	0.26
			SLD	0.07	2.45	0.27
			SLV	0.17	2.39	0.31
			SLC	0.22	2.41	0.32
	100	100	SLO	0.07	2.45	0.27
			SLD	0.09	2.45	0.28
			SLV	0.22	2.41	0.31
			SLC	0.27	2.43	0.32

Classe d'uso	Vita nominale V_N	Periodo di riferimento V_R	Stato limite	a_g	F_0	T_c
II	50	75	SLO	0.07	2.45	0.26
			SLD	0.08	2.45	0.28
			SLV	0.20	2.40	0.31
			SLC	0.03	2.42	0.318
	100	150	SLO	0.08	2.45	0.28
			SLD	0.11	2.42	0.29
			SLV	0.25	2.42	0.31
			SLC	0.30	2.44	0.32

Tabella 1.4.2 – Tabella dei parametri sismici (D.M. 14/01/2008) ottenuti per gli areali di studio (continua)

V_s 30 (m/s)	F.A. pga	Intensità spettrale S.I.	F.A. S.I
200	1.7	$0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$	1.9
		$0.5 \text{ s} < T_0 < 1.0 \text{ s}$	2.6
250	1.7	$0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$	1.9
		$0.5 \text{ s} < T_0 < 1.0 \text{ s}$	2.5
300	1.6	$0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$	1.8
		$0.5 \text{ s} < T_0 < 1.0 \text{ s}$	2.4

Tabella 1.4.3 – Tabella dei fattori di amplificazione (Delibera RER n.112/2007) ottenuti per gli areali di studio (§ tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b)

1.4.5 Verifiche della suscettibilità alla liquefazione

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

Le caratteristiche dell'evento sismico atteso sono: magnitudo (M) = 5.54, accelerazione di riferimento per il territorio comunale di Castenaso ($a_g = 0,175g$). I fattori predisponenti sono riassumibili nella categoria di sottosuolo di fondazione (categoria "C"), e nel potenziale di liquefazione dei sedimenti saturi. Le caratteristiche del sottosuolo sono state studiate entro le aree indicate nel PSC, che costituiranno i futuri POC/PUA.

Gli effetti sulle strutture dovranno essere stimati in relazione ai progetti per i nuovi insediamenti, nell'ambito delle analisi relative ai POC, ove necessario; mentre per l'esistente occorrerebbe un laborioso rilevamento delle caratteristiche dell'edificio.

1.4.5.1 Prove geognostiche in sito

Le proprietà delle sabbie liquefacibili sono ricavate da informazioni geognostiche d'archivio e dalle prove penetrometriche e di laboratorio effettuate nello specifico per questo lavoro. Per Villanova di Castenaso e per il Capoluogo si riscontrano infatti paleoalvei sepolti, attribuibili rispettivamente al Savena-Zena e all'Idice, caratterizzati da depositi granulari saturi potenzialmente liquefacibili.

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

I diagrammi riprodotti nelle figure 1.4.4, 1.4.5, 1.4.6, 1.4.7, 1.4.8 e rappresentano gli esiti delle proiezioni ottenute con i dati meccanici relativi rispettivamente, alle CPTU1 eseguita a Villanova di Castenaso, CPTU2 eseguita a Castenaso Capoluogo, infine agli esiti delle prove (CPTU2, CPTU4, CPTU5) eseguite anch'esse presso il capoluogo (via Fava).

I diagrammi forniscono dati per ogni intervallo di 10 cm (media di 5 valori misurati dalla punta elettrica durante la penetrazione dello strumento). Il colore dei punti plottati è riferito alla profondità dal p.c., il numero di punti per ogni colore indica lo spessore complessivo dell'insieme di intervalli considerati, l'addensamento o la diffusione dei punti colorati nei vari campi fornisce l'immagine dell'uniformità od eterogeneità di comportamento in relazione ai parametri considerati.

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

campo A = liquefazione ciclica possibile, in dipendenza dall'ampiezza e dal tempo del carico ciclico;

campo B = liquefazione improbabile, I_c (Indice di Comportamento) $> 2,6$;

campo C = liquefazione fluida ciclica possibile, in dipendenza dall'ampiezza e dal

tempo del carico ciclico dalla plasticità e sensitività.

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 verticali indagate.

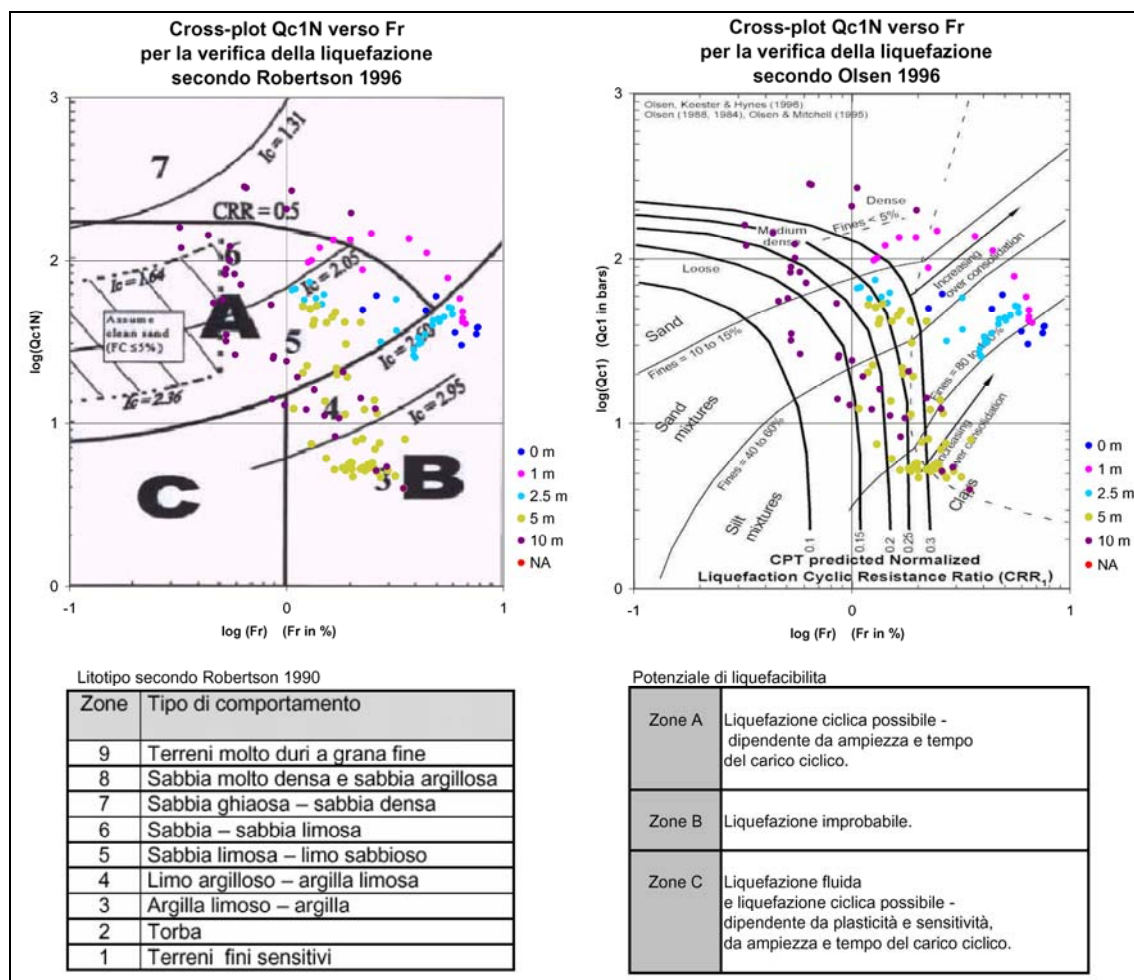


Fig. 1.4.4 - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU1 (eseguita a Villanova) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD. (in rosso = da 0 a 1 m dal p.c.; fucsia = da 1 a 2,5 m; giallo = da 2,5 a 5; azzurro = da 5 a 10 m; viola = da 10 m a fine prova).

Dal diagramma riferito alla prova CPTU1 di Villanova (fig. 1.4.4), si nota immediatamente una distribuzione dei punti plottati concentrati sia nel campo "B" che nel campo "A", questi ultimi rappresentativi dei sedimenti granulari insaturi e limosi attraversati tra -4 m e -6 metri circa dal p.c., e dei sedimenti posti a profondità maggiori di 10,7 fino a fine prova. Questo secondo intervallo risulterebbe comunque

caratterizzato da alternanze di sabbie limose e limi fino a circa 11,7 m e da sabbie molto dense con ghiaie da 12,5 a fine prova. In effetti l'intervallo attraversato dalla prova che presenta una più evidente propensione alla liquefacibilità risulterebbe collocato tra 11,7 e 12,5 m (sabbie più o meno limose mediamente addensate). In sostanza, la CPTU1 attraversa sedimenti potenzialmente liquefacibili, ma con profondità e spessori tali da offrire scarsi o influenti effetti in superficie.

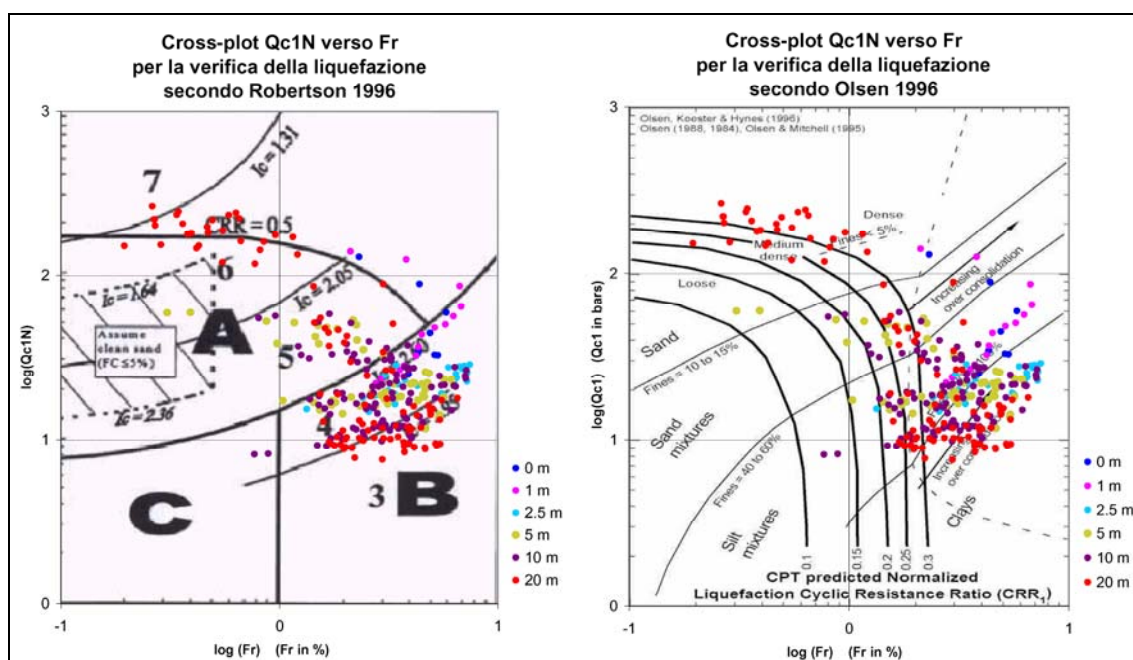


Fig. 1.4.5 - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU2 (Castenaso capoluogo) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD. (in rosso = da 0 a 1 m dal p.c.; fucsia = da 1 a 2,5 m; giallo = da 2,5 a 5; azzurro = da 5 a 10 m; viola = da 10 a 20 m; blu = da 20 m a fine prova).

Il diagramma riferito alla prova CPTU2 (Castenaso capoluogo, figura 1.4.5) si evince che la distribuzione dei punti plottati si concentra nel campo "B" mentre i punti interni al campo "A" sono rappresentativi di sequenze di sabbie limose poco potenti (strati da centimetrici fino a circa 70÷80 cm) attraversati da circa 7 m fino a circa 20 m dal p.c. e di un più potente intervallo granulare (sabbie addensate) collocato da 20,4 a 23,6 m di profondità. Anche per quest'ultimo intervallo collocato oltre 20 metri gli effetti della liquefazione sono scarsamente risentiti per strutture con fondazioni di superficie).

I diagrammi riportati nelle figure 1.4.6, 1.4.7, 1.4.8 si riferiscono invece alle prove eseguite dallo Studio scrivente ancora nei pressi del Capoluogo, in via Fava. Sono state eseguite complessivamente cinque terebrazioni e di queste, due sono state spinte fino a -31 m circa senza attraversare livelli granulari significativi. Le altre tre prove (CPTU2, CPTU4 e CPTU5) hanno invece attraversato strati granulari nei primi 10 metri. Questo differente contesto è dovuto al fatto che l'area indagata ricade al limite della struttura sepolta granulare sulla quale si è insediato anche il capoluogo (figura 1.3.1). Queste sabbie risultano pressoché insature (tetto della falda collocato ad

oltre 9 m dal p.c.); si tratta di un dato importante che esclude la possibilità di liquefazione attuale ed anche futura. Infatti, vi è ormai instaurata una situazione di irreversibilità di contesto drenante prodotto dall'alveo dell'Idice sulla tavola d'acqua sotterranea (attualmente incassato nei suoi sedimenti di oltre 12 metri). Infatti, la situazione ormai inarrestabile di drenanza indotta dall'alveo dell'Idice sulla tavola d'acqua sotterranea (attualmente incassato nei suoi sedimenti di oltre 12 metri), dovrebbe impedire future significative riduzioni della soggiacenza della prima falda.

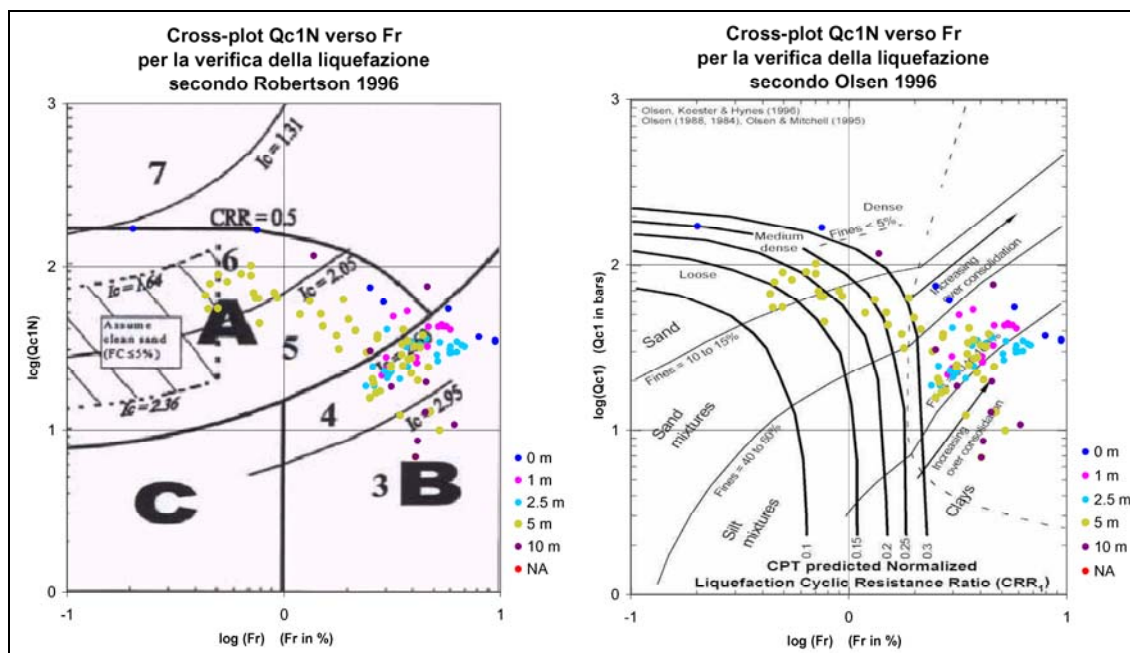


Fig. 1.4.6 - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU2 (Castenaso, via Fava) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD. (in rosso = da 0 a 1 m dal p.c.; fucsia = da 1 a 2,5 m; giallo = da 2,5 a 5; azzurro = da 5 a 10 m; viola = da 10 a 20 m; blu = da 20 m a fine prova).

Il diagramma per la CPTU2 (figura 1.4.6), concentra i punti prevalentemente nel campo "B" (liquefazione improbabile), mentre i punti che vengono plottati nel campo "A" sono relativi agli intervalli granulari attraversati da 6,3 a 9,7 m circa dal p.c. che risultano comunque insaturi. La penetrometria CPTU4 (figura 1.4.7), indica invece un contesto di sottosuolo prevalentemente granulare (sabbie più o meno limose), per tutto l'intervallo attraversato dalla prova. Queste sabbie risulterebbero potenzialmente liquefacibili ma l'assenza di falda, come già scritto, offre ampie garanzie di esclusione del fenomeno in caso di impulsi ciclici dovuti a sisma. La penetrometria CPTU5 (figura 1.4.8) mostra invece rari punti inseriti nel campo "A", legati alla presenza di alternanze con strati sabbioso limosi di modesto spessore (< 60-80 cm) attraversati fino alla profondità di circa 9,8 metri e di fatto con effetti di liquefazione che dovrebbero essere scarsamente risentiti da fondazioni superficiali. Anche in questo caso, l'assenza di falda risulta un importante fattore escludente della liquefazione di questi intervalli granulari.

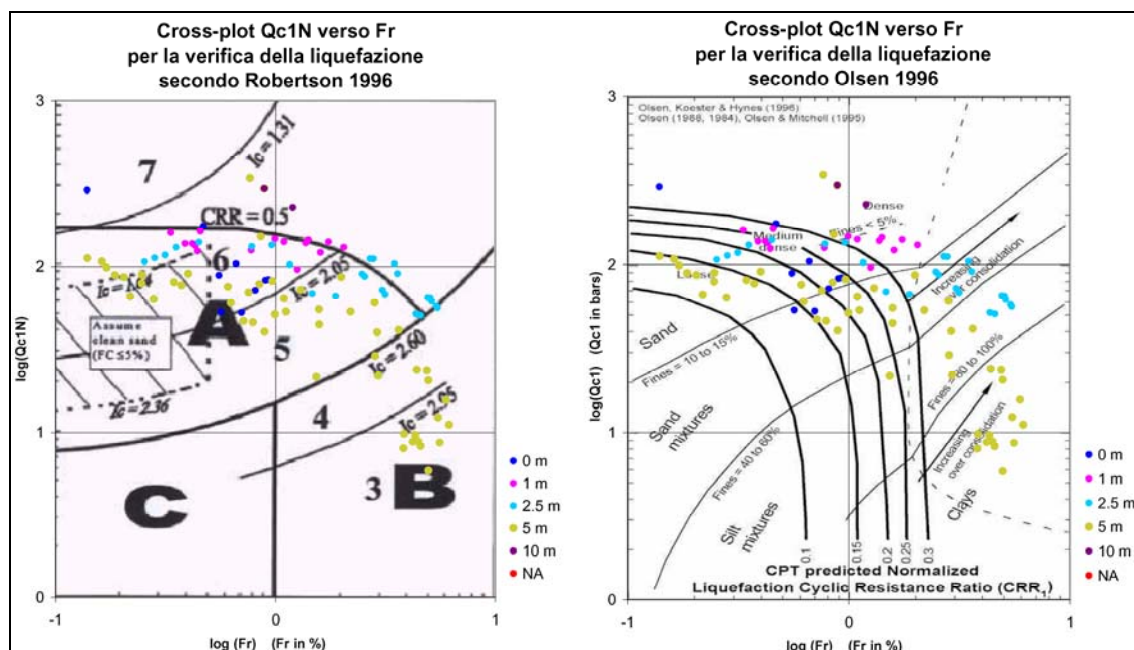


Fig. 1.4.7- Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU4 (Castenaso, via Fava) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD. (in rosso = da 0 a 1 m dal p.c.; fucsia = da 1 a 2,5 m; giallo = da 2,5 a 5; azzurro = da 5 a 10 m; viola = da 10 a 20 m; blu = da 20 m a fine prova).

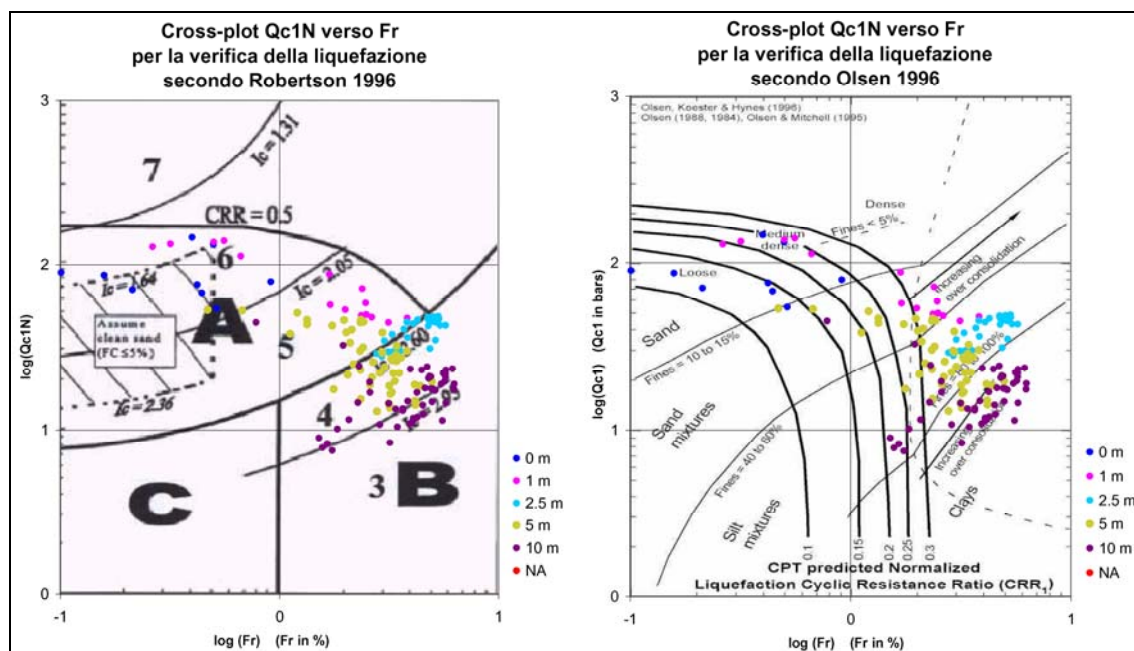


Fig. 1.4.8 - Proiezione dei dati meccanici relativi alla CPTU5 (Castenaso, via Fava) nei diagrammi di identificazione indiretta della liquefazione e del CRR. I dati rilevati sono riportati in forma numerica nell'allegato CD. (in rosso = da 0 a 1 m dal p.c.; fucsia = da 1 a 2,5 m; giallo = da 2,5 a 5; azzurro = da 5 a 10 m; viola = da 10 a 20 m; blu = da 20 m a fine prova).

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

In conclusione, l'insieme delle prove e delle analisi effettuate mostra un quadro 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. 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 il comune di Castenaso non è menzionato 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 1.5.1, infine, riporta la sintesi delle zone in cui è nota la presenza di corpi granulari saturi nei primi 20 metri di sottosuolo, a scala minore rispetto alle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b.

1.5 – MICROZONIZZAZIONE E PROPOSTA NORMATIVA

La microzonazione, sintesi grafica e geografica delle informazioni raccolte ed elaborate nel presente lavoro, è rappresentata nelle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b., allegate fuori testo. Nelle tavole le zone sono distinte con una sigla alfanumerica che riporta:

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

La categoria di sottosuolo di fondazione riscontrata nell'intero territorio comunale è "C" (§1.4.1). Le velocità delle onde di taglio (V_s) derivate dai parametri geomeccanici misurati dalle CPTU-CPTE sono abbastanza simili tra loro, (CPTU1 $V_s=200$ m/s; CPTU2 $V_s=233$ m/s), tranne nel caso delle MASW 1 e 2 in cui le V_s raggiungono un valore maggiore prossimo a 250 m/s.

Gli esiti delle prove geognostiche e sismiche e le informazioni più ampie di sottosuolo (tessiture e parametri meccanici) ricavate dalle prove di repertorio, consentono di attribuire agli areali di studio (Villanova di Castenaso, Marano di Castenaso, Canova e Capoluogo) le appropriate V_s . In appendice sono riportati i diagrammi delle penetrometrie eseguite e gli esiti delle MASW.

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

1.5.1 Morfologia

Il Territorio comunale ricade in un contesto di pianura che esclude la possibilità di amplificazione del moto sismico in superficie indotta da aspetti puramente topografici ad esclusione delle scarpate dei vuoti delle cave: il fattore relativo alla morfologia è pertanto pari a 1.

Ciò detto, nella Tavola Ca.B.1.6a vengono perimetrate le cave note nel territorio comunale: risultano in un caso ("Cava Romitino est e ovest") interne a zone di espansione e nel secondo caso (in località Flesso) lambiscono alcune zone di previsione.

1.5.2 Liquefazione

La zonizzazione delle aree in cui si sono supposti sedimenti granulari saturi è distinta da appositi retini nelle tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b, e con numeri romani nelle sigle relative alla zonizzazione sismica, questi ultimi indicano il grado di liquefacibilità:

- **I – Liquefazione poco probabile**, sono aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri. Si tratta di intervalli sabbiosi con abbondante matrice limosa o con potenze di molto inferiori al metro, oppure in condizioni di non saturazione probabilmente non reversibile;
- **II – Possibilità di liquefazione (spessore e tessitura da controllare)**,

sono aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri. Si tratta di sequenze sabbiose con abbondante matrice limosa ma con potenze comprese tra 1 e 2 metri o con presenza di strati granulari liquefacibili di modesto spessore. Si dovranno pertanto controllare lo spessore e i fusi granulometrici e la quota piezometrica della falda;

- **III – Possibilità di liquefazione con cedimenti da valutare**, a questa categoria corrispondono le aree in cui è rilevata presenza di sabbie sature con potenza compresa tra 2 e 4 metri nei primi 10-12 metri dal piano campagna. Oltre a verificare la presenza sedimenti granulari con spessore superiore a 4 metri, il cui fuso granulometrico dimostri la possibilità di liquefazione, sarà opportuno stimare cedimenti differenziali e assoluti;

In tutte le aree in cui non è codificata la liquefazione (sigle con lettera e numero arabo ma senza numero romano) non risultano essere presenti sedimenti liquefacibili per spessori continui superiori al metro, entro i primi 15 metri di profondità. Nella fase di obbligatorio approfondimento per i POC/PUA, o anche nella fase di progettazione di massima, le indagini geognostiche hanno anche il compito di confermare o smentire questo asserto.

Le sigle riportate nelle Tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b riflettono la zonizzazione illustrata, e sono:

- **C-1** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s), non risulta la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, nei primi 15 metri di sottosuolo; 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-2** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s), non risulta la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, nei primi 15 metri di sottosuolo; fattori di amplificazione locale $FA = 1,9$ per periodi da 0,1 secondi a 0,5 secondi; e $FA = 2,5$ per periodi da 0,5 secondi a 1 secondo;
- **C-3** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s), non risulta la presenza di sedimenti liquefacibili sotto impulsi ciclici, nei primi 15 metri di sottosuolo; 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-I-2** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s), sedimenti in cui è poco probabile che si verifichi liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $\geq 5,5$; fattori di amplificazione locale $F.A. = 1,9$ per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; $F.A. = 2.5$ per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.
- **C-I-3** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s), sedimenti in cui è poco probabile che si verifichi liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $\geq 5,5$; fattori di amplificazione locale $F.A. = 1,8$ per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; $F.A. = 2.4$ per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.
- **C-II-2** = sottosuolo di fondazione “C” ($180 < V_{s30} < 360$ m/s) sedimenti in cui è possibile che si verifichi liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $\geq 5,5$; fattori di amplificazione locale $F.A. = 1,9$ per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; $F.A. = 2.5$ per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.

- **C-II-3=** sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s) sedimenti in cui è possibile che si verifichi liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $\geq 5,5$; fattori di amplificazione locale F.A.= 1,8 per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; F.A.= 2.4 per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.
- **C-III-2=** sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s), sedimenti in cui è possibile che avvenga liquefazione con eventuali cedimenti¹ da valutare, sotto impulsi ciclici dotati di magnitudo $\geq 5,5$; fattori di amplificazione locale F.A.= 1,9 per periodi da 0.1 secondi a 0.5 secondi; F.A.= 2.5 per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.

1.5.3 Proposta normativa

Art. 1 – Le tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b del Quadro Conoscitivo relativo al P.S. Comunale di Castenaso, rappresentano l'approfondimento dello studio di pericolosità sismica di rispetto alla <<zonizzazione sismica>> di primo livello elaborata per il Quadro Conoscitivo del PSC dell'Associazione Valle Idice. Questo ulteriore secondo livello di studio è stato elaborato per le zone di espansione contenute nel Piano e per i principali nuclei urbanizzati e produttivi (Villanova di Castenaso, Marano di Castenaso, Canova e Capoluogo). Le tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b riportano i perimetri delle zone sismiche come definite al paragrafo 1.5.2).

Art. 2 – I POC/PUA potranno variare i perimetri ed i parametri della microzonazione sismica riportata nelle Tavole Ca.B.1.6a e Ca.B.1.6b del P.S. Comunale, solamente a seguito di approfondite indagini geognostiche e prospezioni geofisiche, eseguite con adeguata strumentazione.

Art. 3 - I POC ed i PUA dovranno effettuare ricerche di dettaglio finalizzate a definire:

- la profondità del "bedrock sismico" locale e la sua variazione di quota entro i confini del POC ed inoltre per un perimetro esterno comprendente le aree già insediate, come verrà stabilito dalle norme del POC. Entro 80-100 metri di profondità, può costituire "bedrock sismico" lo strato che fornisce un significativo incremento della V_s (maggiore del 20% rispetto allo strato precedente) a partire da 600 m/s. In assenza di un simile strato, il "bedrock sismico" può essere posto alla profondità a cui l'estrapolazione delle V_s note, seguendo il gradiente di incremento, raggiunge i 800 m/s come indicato anche nella Delibera regionale n. 112/2007;
- le velocità delle onde di taglio V_s almeno per i primi 31 metri dal p.c, misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione

¹ La stima degli effetti (liquefazione e cedimenti) è relativa a costruzioni di normal impegno con fondazioni superficiali. Distribuzioni disomogenee dei carichi, numero elevato di piani, fondazioni differenziate devono essere stimate a parte.

elevato;

- la stratigrafia e le tessiture dell'intervallo litologico almeno dei primi 15 m di sottosuolo, anche per la stima degli effetti locali indotti dalla liquefacibilità;
- le quote piezometriche e le soggiacenze della falda locale.

Art. 4 - La strumentazione di indagine, il numero minimo di prove da effettuare in relazione alla microzonazione sismica, e le eventuali maggiori profondità di prospezione, saranno indicate nelle norme di ogni POC o PUA;

Art. 5 – La definizione dei fattori di amplificazione locale (F.A.) sarà ricavata da apposita modellistica di simulazione sismica secondo le necessità. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso dovranno essere esposti, anche in formato numerico, nella relazione geologica che accompagna ogni comparto di espansione. 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.

