

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 SI.B.1.5.REL RELAZIONE GEOLOGICA MICROZONAZIONE SISMICA

Adozione D.C.C. n. 23 del 20/05/2008

Approvazione D.C.C. n. 27 del 07/04/2009

ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE VALLE DELL'IDICE

Presidente: MARIA GRAZIA BARUFFALDI

CASTENASO
il Sindaco
MARIA GRAZIA
BARUFFALDI

OZZANO DELL'EMILIA
il Sindaco
LORETTA
MASOTTI

SAN LAZZARO DI SAVENA
il Sindaco
MARCO
MACCIANTELLI

l'Assessore all'Urbanistica
MAURIZIO PIRAZZOLI

l'Assessore all'Urbanistica
LORETTA MASOTTI

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)

Ufficio di Piano

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

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)

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

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&Associati

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

INDICE

| | |
|---|----------|
| 1 – MICROZONAZIONE SISMICA..... | 1 |
| 1.1. – Introduzione | 1 |
| 1.2. – Indagini geognostiche e sismiche | 2 |
| 1.3 – Paleogeografia e liquefazione..... | 8 |
| 1.4. – Pericolosità sismica locale | 12 |
| 1.4.1 – Il quadro normativo di riferimento..... | 12 |
| 1.4.2. – Obiettivi dell'indagine sismica | 16 |
| 1.4.3. – Definizione delle Vs30 e della “categoria di sottosuolo di fondazione” | 16 |
| 1.4.4. – Amplificazione locale..... | 18 |
| 1.4.5. – Verifiche della suscettibilità alla liquefazione | 20 |
| 1.4.6.1. – Prove geognostiche in sito..... | 20 |
| 1.5. – Microzonazione e proposta normativa | 22 |
| 1.5.1 – Morfologia..... | 23 |
| 1.5.2. – Liquefazione | 23 |
| 1.5.3. – Proposta normativa | 25 |

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 (Vs).

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 San Lazzaro di Savena, inserito nella "zona 2" 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 San Lazzaro, 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 CPTe 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 rifiuto strumentale. 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;
- 5 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;
- 23 indagini con tomografo 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 12 minuti;
- 1 sondaggio a carotaggio continuo;

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, 1.2.4, 1.2.5 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.

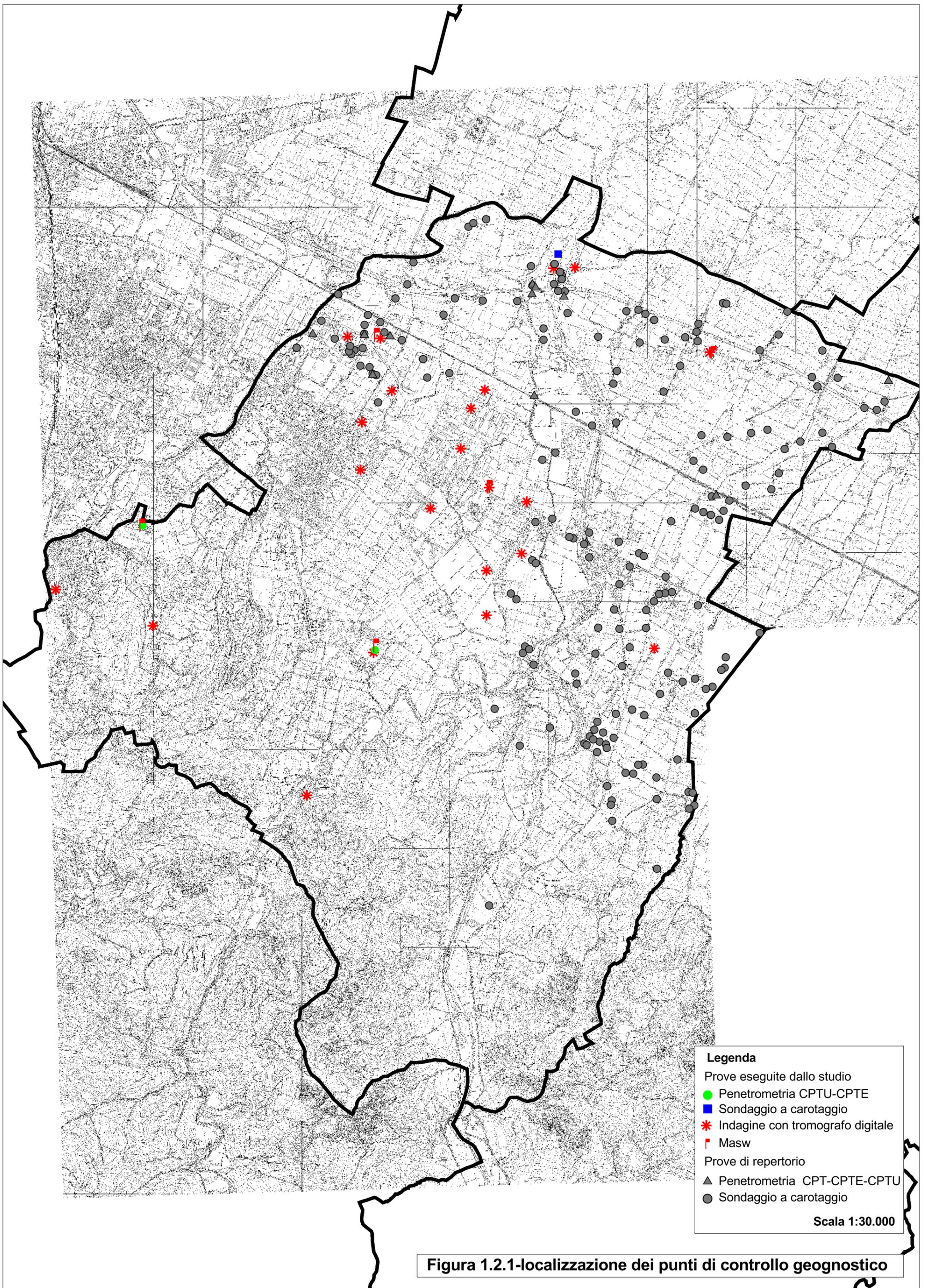


Figura 1.2.1-localizzazione dei punti di controllo geognostico

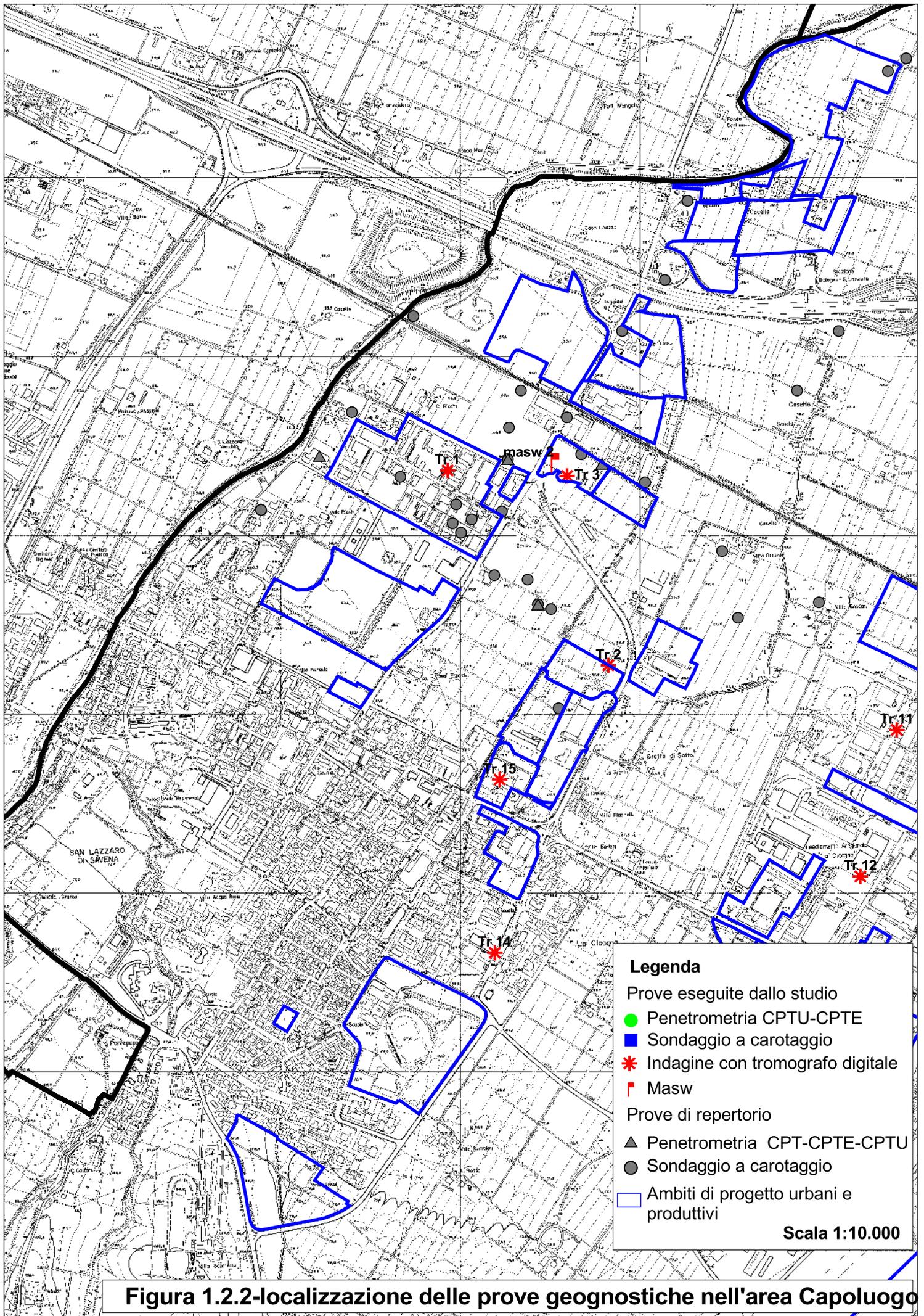


Figura 1.2.2-localizzazione delle prove geognostiche nell'area Capoluogo

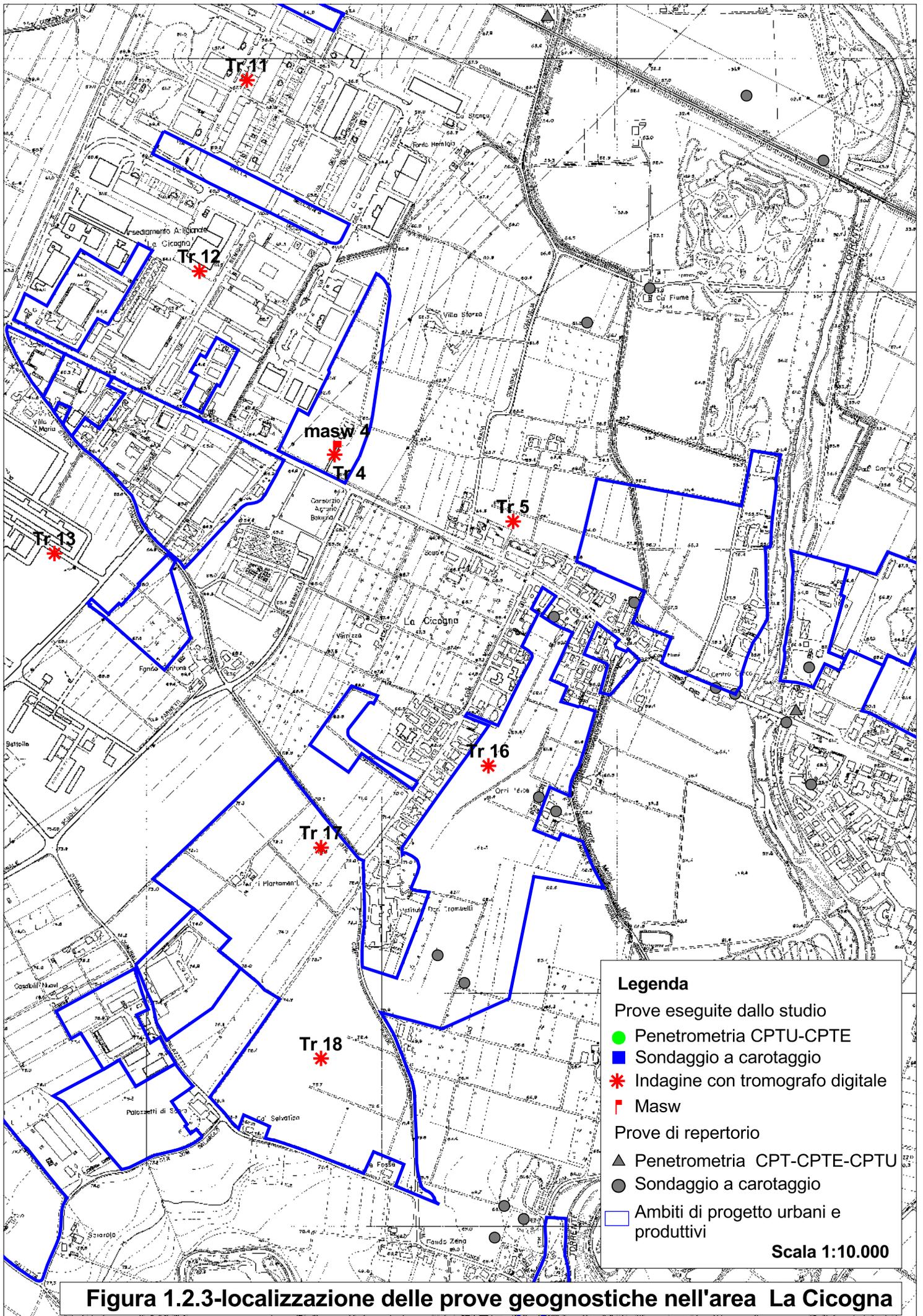
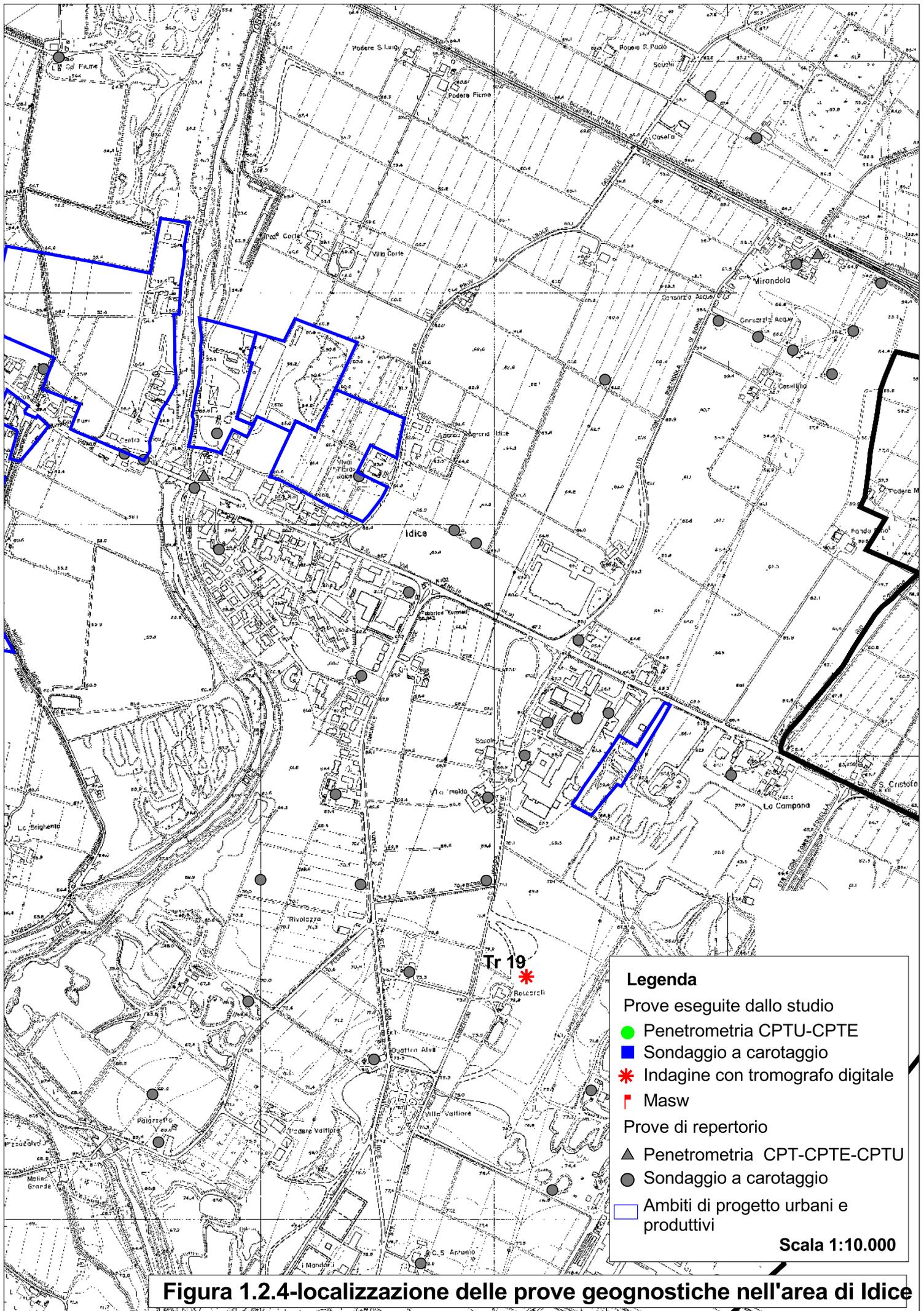


Figura 1.2.3-localizzazione delle prove geognostiche nell'area La Cicogna



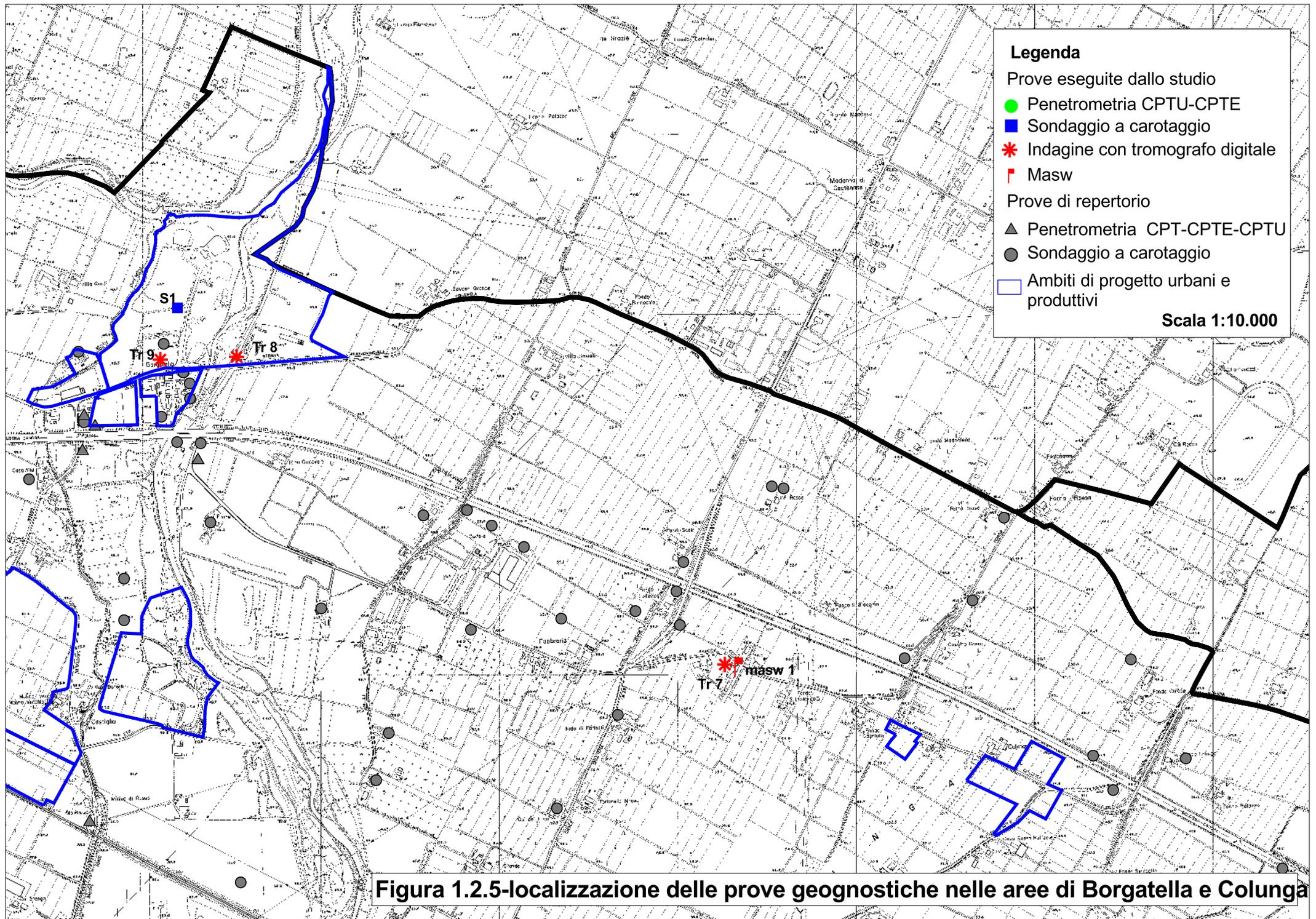


Figura 1.2.5-localizzazione delle prove geognostiche nelle aree di Borgatella e Colungara

1.3 – PALEOGEOGRAFIA E LIQUEFAZIONE

Il contesto paleogeografico di pianura in cui ricadono le principali aree di espansione, il Capoluogo e le maggiori zone produttive risulta riconducibile ad un ambiente deposizionale di conoide alluvionale attribuibile ai torrenti Idice ed in minor parte (porzione del territorio più occidentale) al Savena (figura 1.3.1). Il sottosuolo meno profondo (< 6 metri) è qui costituito da sedimenti granulari prevalentemente ghiaiosi a matrice più o meno limosa: il Capoluogo e parte dell'alta pianura a sud della Via Emilia sono caratterizzati da ghiaie rilevate anche a partire dal piano campagna.

Questa ricostruzione paleogeografica di sottosuolo risulta in verità molto approssimativa per la rarefazione dei punti di controllo. Le verifiche effettuate per l'elaborazione più dettagliata del PSC hanno permesso di proporre una nuova zonizzazione sismica per un areale che comprende le principali zone di espansione, il Capoluogo e le maggiori zone produttive, come riportato nella tavole SI.B.1.6a.

Ciò detto, gli esiti delle prove tromografiche del Capoluogo, Idice, La Cicogna e la Pulce (Tr4, Tr5, Tr7, Tr8, Tr10, Tr11, Tr12, Tr13, Tr16, Tr17, Tr18, Tr20) indicano, nell'intervallo compreso tra 6 e 1.8 Hz ($44 \div 12$ m), un'amplificazione (valore indicato sull'asse delle y) compreso tra 1 e 2; questo esito può essere indice della presenza di diversi intervalli di materiale granulare ghiaioso, compatibile con quello della conoide del Torrente Savena indicato in figura 1.3.1. In questo senso anche l'esito della prova tromografica Tr6 (figura 1.3.2), effettuata nella località La Pulce, mostra un evidente picco di amplificazione di circa 2 alla frequenza di 25Hz (circa 2.5 m), prova della presenza di livelli ghiaiosi superficiali, confermato anche dall'esito della prova penetrometrica CPTU2 conclusa alla profondità di 2.5 m per rifiuto strumentale dovuto alla probabile presenza di ghiaie alla profondità sopracitata (vedi allegati).

Al contrario le tracce relative alle prove tromografiche, immediatamente a nord del Capoluogo (Tr1, Tr2, Tr3, Tr15) mostrano nell'intervallo di frequenza $30 \div 5$ Hz ($1.5 \div 10$ m) un'amplificazione circa uguale ad 1, indice della probabile presenza, in questo caso, di materiale fine con scarse qualità meccaniche.

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.

Le informazioni dirette di sottosuolo indicano la presenza di due paleoalvei prevalentemente sabbiosi riportati nella figura 1.3.1, attribuiti al Torrente Savena, rispettivamente nei primi 10 metri di sottosuolo e tra 10 e 15 metri dal p.c. Per la prima struttura granulare meno profonda (vedi località Caselle) si presuppone, pertanto, la possibilità di liquefazione e di cedimenti che devono essere valutati per fondazioni superficiali. Il secondo alveo, più profondo e caratterizzato da intervalli sabbiosi saturi meno potenti (< 1 m), offre minor possibilità di effetti di liquefazione in superficie (vedi località Borgatella).

Occorre inoltre rammentare che i limiti degli apparati di conoide del Savena e dell'Idice risultano incerti, in quanto i corpi granulari sepolti sono spesso fusi tra loro; la figura 1.3.1 pertanto non riporta i limiti tra i due apparati citati.

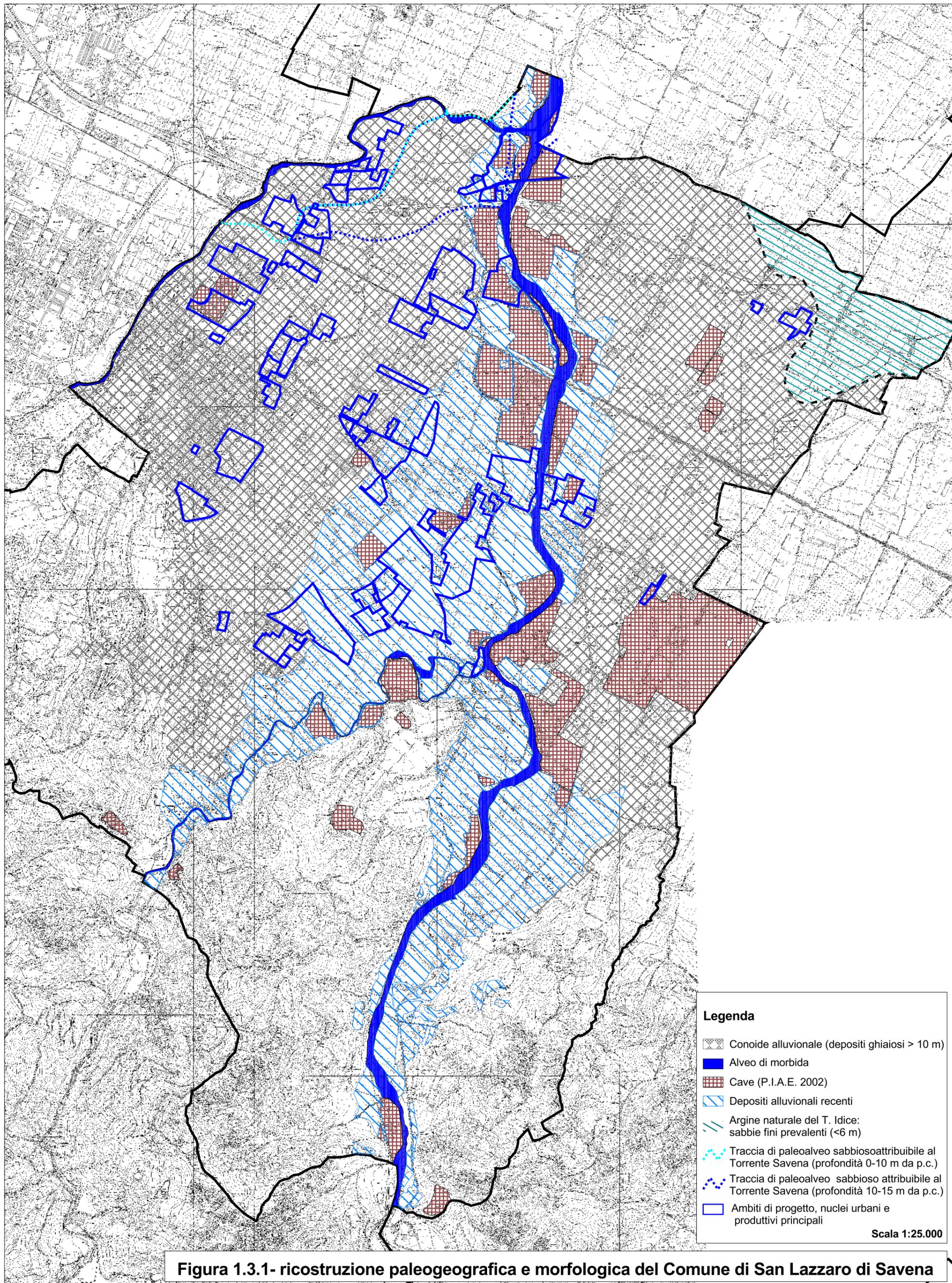


Figura 1.3.1- ricostruzione paleogeografica e morfologica del Comune di San Lazzaro di Savena

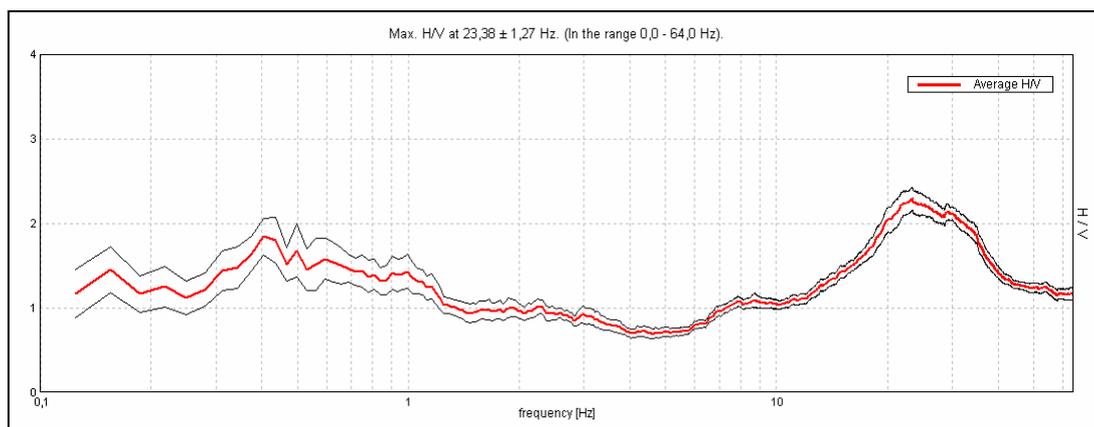


Fig. 1.3.2 – esito della prova tomografica Tr6

L'idrogeologia locale è caratterizzata da forti ed estese anomalie delle geometrie del tetto piezometrico (formato dell'insieme delle prime falde) nella porzione di territorio comunale a sud dell'autostrada A14. Questo contesto è connesso alla presenza del campo di sollevamento HERA di Mirandola, tra i comuni di Ozzano dell'Emilia e San Lazzaro di Savena: le elevate soggiacenze indotte dalla depressione piezometrica (che richiama in profondità le acque delle falde più superficiali) diminuiscono nella fascia di territorio a nord dell'Autostrada A14.

Ciò detto, la maggior parte del Capoluogo e delle altre aree urbane e produttive, ad esclusione di quelle prossime alle località di Borgatella e Caselle, sono caratterizzate da un potente intervallo di sedimenti granulari di conioide insaturi: questa situazione attuale risulta fattore escludente di fenomeni di liquefazione nel volume di sottosuolo sopraccitato. Occorre precisare che questa condizione è da considerarsi però reversibile nell'ipotesi di esaurimento degli emungimenti d'acqua dai pozzi HERA: il recupero della naturale salienza nelle falde più profonde potrà favorire anche la ricarica degli acquiferi più superficiali e della falda freatica.

La ricostruzione paleogeografica e le ulteriori considerazioni sulla liquefacibilità, hanno permesso nuove delimitazioni che costituiscono variazione degli elaborati SI.B.1.4a e SI.B.1.4b intitolati <Zonizzazione sismica> del Quadro Conoscitivo del P.S. relativo all'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.

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 dalle figure 1.3.1 e 1.5.1 è possibile esistano porzioni di territorio (vedi Caselle e Borgatella) in cui si possono incontrare sedimenti granulari saturi, nell'intervallo di profondità più pericoloso ai fini di normale edificazione (15 metri dal p.c.). Certamente la distanza dalla sorgente dei clasti (Appennino) è inversamente proporzionale alla propensione alla liquefazione, per aumento delle componenti fini.

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 depositi da corsi d'acqua (piana alluvionale di esondazione, canale fluviale, delta fluviali, estuari) dimostrano una probabilità di liquefazione da alta a molto alta se di età minore di 500 anni o Olocenica, gli stessi depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno invece una "bassa" probabilità di liquefarsi. Cioè l'osservazione dimostra che sono solamente i sedimenti di deposizione recente (olocene) e recentissima (meno di 500 anni) a presentare un'alta pericolosità per la liquefazione;

- 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 e limitrofo ($M=5,5$).

I depositi granulari dell'Idice e del Savena, di età più recente (< 2000 anni) possono costituire una fonte di potenziale pericolo di liquefazione (se saturi e di potenza superiore al metro) anche per sismi di magnitudo modesta ($M = 5,5$).

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

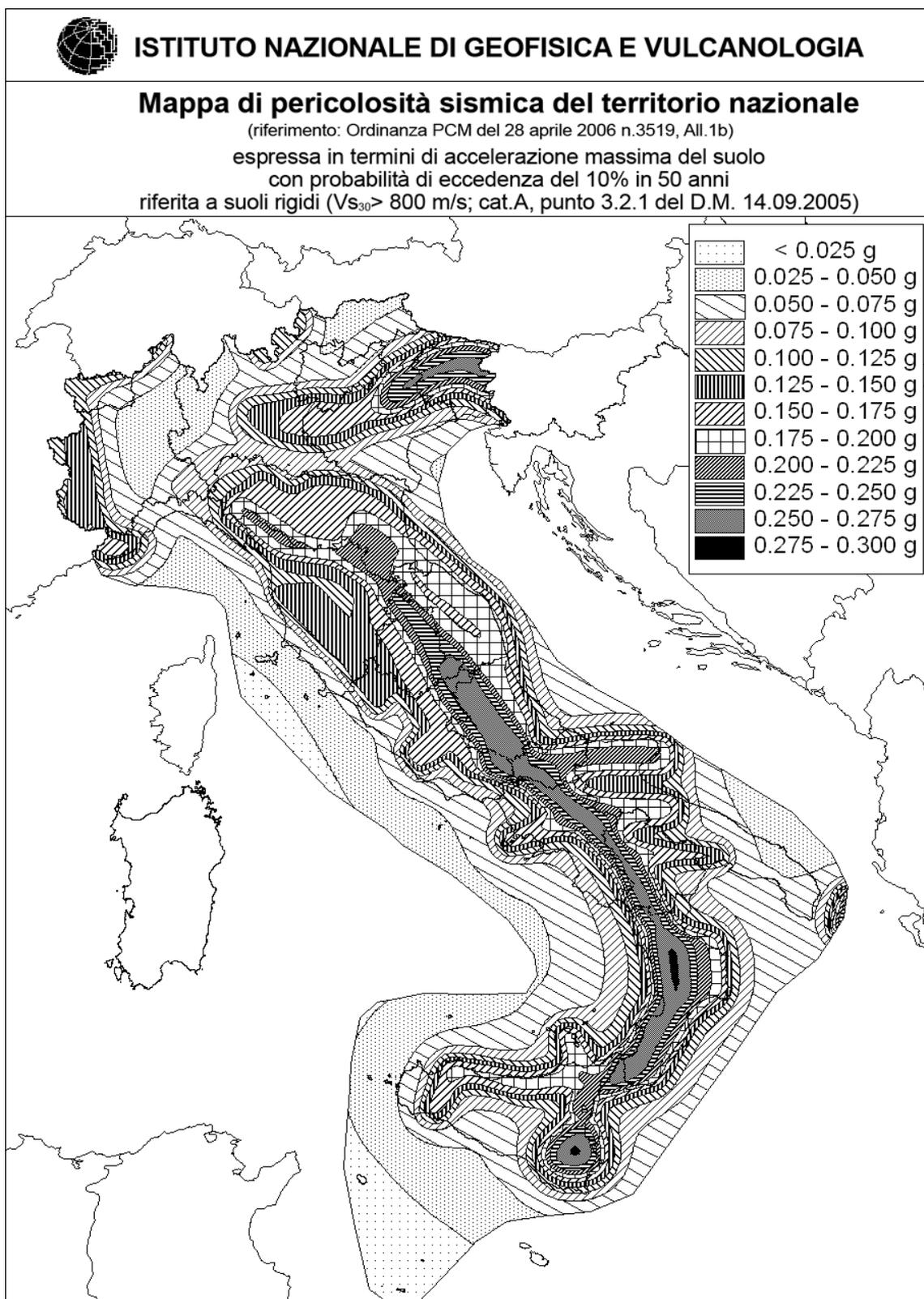


Figura 1.4.1 – Mapa della pericolosità sismica del territorio nazionale, pubblicata nell' dall'Ordinanza PCM. n. 3519/2006

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/liquesfazione, cedimenti dei terreni, ecc.). Questa prima fase deve essere elaborata ad una scala territoriale provinciale o comunale. Le sedi adeguate per affrontare queste analisi preliminari sono il quadro conoscitivo del PTCP o quello del PSC (anche in forma associata). Questo primo livello di approfondimento, richiesto per tutti i comuni della nostra Regione, è stato già approntato dallo Studio scrivente prima della pubblicazione della Delibera;
- 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 S_I/S_{I_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 San Lazzaro di Savena.

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 SI.B.1.4a Zonizzazione sismica>> e <<Elaborato SI.B.1.4b 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 San Lazzaro di Savena 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 San Lazzaro di Savena, ricadono entro tre differenti aree: <<liquefazione potenziale dei sedimenti saturi>>, <<Non liquefacibile attuale (sabbie insature)>> e <<Non liquefacibile (insaturo)>>. Così per la microzonazione sismica del Comune di San Lazzaro di Savena si è tenuto conto del contesto di conoide e della presenza di strutture sepolte granulari e della loro pericolosità, proponendo una delimitazione di paleoalvei, fino ad una profondità di circa 15 m, del Torrente Savena (vedi zona di Borgatella e Casella), 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 Vs e del bedrock sismico, accertamento della liquefacibilità delle sabbie sature entro i primi 20 metri dal p.c.

1.4.3 Definizione delle Vs₃₀ e della "categoria di sottosuolo di fondazione"

Per stimare i valori di Vs30 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.

Per la valutazione della velocità delle onde di taglio, riscontrata nei primi 30 metri di sottosuolo (Vs30), sono stati utilizzati i risultati derivanti dalle prove penetrometriche eseguite (CPTe 1 Vs=228 m/s; CPTe 2 Vs=195 m/s). Queste ultime, per rifiuto strumentale dovuto alla probabile presenza orizzonti ghiaiosi in superficie raggiungono una profondità di indagine di massimo 2m. I risultati delle indagini

geognostiche sono stati quindi integrati con quelli ottenuti dalle indagini geofisiche (Masw1 Vs=202 m/s; Masw2 Vs= 274 m/s; Masw3 Vs=360 m/s; Masw4 Vs=221 m/s; Masw5 Vs=233 m/s). Il valore della Vs, in particolare per la zona di Borgatella (Vs30= 260 m/s), è stato ricavato tramite l'utilizzo del software per l'acquisizione delle tracce tomografiche che confronta la curva con il modello H/V sintetico (figura 1.4.2). Dalla valutazione dei dati provenienti dalle prove geognostiche – geofisiche le velocità delle onde di taglio Vs30 ricadono nella “categoria di sottosuolo di fondazione C”.

L'estrapolabilità di questi dati è stata controllata con 23 prove tomografiche che confermano la correlabilità delle Vs ai territori circostanti le penetrometrie effettuate. Tutti gli esiti delle prove effettuate, compresi i diagrammi ottenuti dal tomografo digitale, sono riportati in appendice al testo in forma grafica, ed in forma numerica nel CD allegato.

Si può concludere che nelle aree indagate la categoria di sottosuolo di fondazione mediamente ricostruita è la "C" (§ 1.4.1). Questo esito può essere esteso all'intera area urbanizzata del Capoluogo e delle frazioni di Borgatella, La Cicogna, Idice e Colunga.

Questa conclusione concorda con la classificazione del territorio riportato negli elaborati SI.B.1.4a e SI-B.1.4b di integrazione al PSC Associato Valle Idice < Zonizzazione sismica>. La tavola SI.B.1.6, allegata fuori testo, non varia quindi la tavola di zonizzazione sismica allegata al PSC associato Valle Idice per la delimitazione delle categorie di sottosuolo di fondazione.

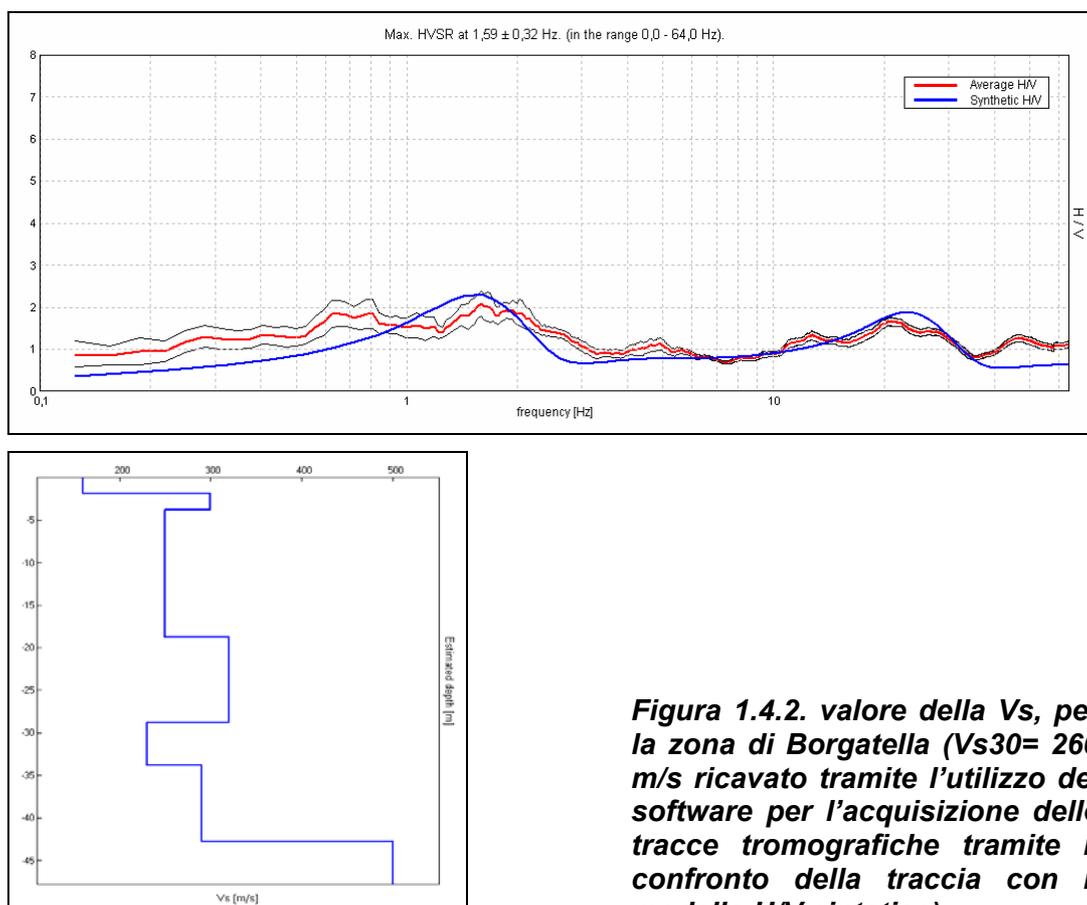


Figura 1.4.2. valore della Vs, per la zona di Borgatella (Vs30= 260 m/s ricavato tramite l'utilizzo del software per l'acquisizione delle tracce tomografiche tramite il confronto della traccia con il modello H/V sintetico)

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 (N.T.C, 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 (Idice, La Cicogna, Borgatella 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..

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 Vs30 calcolate per il territorio in esame, sono riconducibili a quattro differenti intervalli di valori : Vs= 200 m/s (areali di Colunga), $200 < V_s \leq 250$ m/s (zone a nord-ovest del Capoluogo e frazione La Cicogna); $250 < V_s \leq 300$ m/s (Capoluogo; Idice e Borgatella) e $300 < V_s \leq 350$ m/s (La Pulce). Stimando il bedrock sismico a profondità inferiori a 100 metri si sono assunti i valori relativi alla tabella <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.

La Tavola di microzonazione SI.B.1.6 allegata al testo, è stata elaborata sulla base dei risultati di amplificazione ottenuti in ossequio a quanto indicato dalla Delibera.

| V_s 30 (m/s) | F.A. pga | Intensità spettrale S.I. | F.A. S.I |
|--------------------|----------|--------------------------|----------|
| 200 | 1.7 | 0.1 s < T_0 < 0.5 s | 1.9 |
| | | 0.5 s < T_0 < 1.0 s | 2.6 |
| 200 < V_s <= 250 | 1.7 | 0.1 s < T_0 < 0.5 s | 1.9 |
| | | 0.5 s < T_0 < 1.0 s | 2.5 |
| 250 < V_s <= 300 | 1.6 | 0.1 s < T_0 < 0.5 s | 1.8 |
| | | 0.5 s < T_0 < 1.0 s | 2.4 |
| 300 < V_s <= 360 | 1.6 | 0.1 s < T_0 < 0.5 s | 1.8 |
| | | 0.5 s < T_0 < 1.0 s | 2.1 |

Tabella 1.4.3 – Tabella dei fattori di amplificazione (Delibera RER n.112/2007) ottenuti per gli areali di studio (§ tavola SI.B.1.6)

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 San Lazzaro di Savena (a_g = 0,172g). 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'edificato.

1.4.5.1 Prove geognostiche in sito

La presenza e le proprietà delle sabbie liquefacibili sono state ricavate da informazioni geognostiche d'archivio e dalle prove penetrometriche e di laboratorio effettuate nello specifico per questo lavoro. Nel Capoluogo e nelle zone produttive a sud dell'autostrada si riscontrano sedimenti attribuiti alla conoide dell'Idice (figura 1.3.1); nel lembo di territorio più occidentale il sottosuolo è invece formato dai depositi di conoide del Savena. Queste due strutture sepolte, spesso fuse tra di loro,

non consentono di porre un limite ben definito tra esse. In sintesi, il sottosuolo è caratterizzato da modesti spessori, fino ad alcuni metri, di sedimenti limoso - sabbiosi e intercalazioni di livelli sabbiosi o sabbioso – ghiaiosi di potenza decimetrica; al di sotto di questo spessore, sono presenti intervalli granulari (ghiaie e sabbie) con matrice limosa più o meno abbondante.

La porzione di pianura più meridionale, che comprende gran parte delle aree di progetto, e che si estende all'incirca fino all'asse ferroviario, risulta allo stato attuale non soggetta a fenomeni di possibile liquefazione per la presenza di sedimenti granulari ghiaiosi e assenza di falda nei primi 15 metri dal p.c. (§ 1.3). Si tratta comunque di una condizione probabilmente reversibile, nel momento in cui gli attuali e forti emungimenti d'acqua dalle falde più profonde nei campi pozzi di prelievo Hera dovessero cessare o ridursi significativamente.

Verso nord, la granulometria dei sedimenti che costituiscono l'apice degli apparati distributori Idice – Savena tende a diminuire: le ghiaie passano a sabbie con intervalli di potenza anche significativa (maggiore di 1 metro); viceversa anche la matrice fine tende a divenire generalmente più abbondante. Inoltre ancora verso nord, oltre l'asse autostradale, le elevate soggiacenze indotte dalla depressione piezometrica (che richiama in profondità le acque delle falde più superficiali) tendono progressivamente a diminuire.

Ciò detto, la presenza di corpi sabbiosi sepolti saturi, anche a modeste profondità, impone una verifica puntuale della propensione alla liquefazione di tali sedimenti. Nell'area di progetto inclusa tra Caselle e Borgatella, i dati di sottosuolo hanno infatti permesso di delimitare due probabili strutture sabbiose sepolte sature del Savena, attraversate rispettivamente alle quote 0 – 10 metri e 10 – 15 metri; in località Borgatella, lo Studio scrivente ha effettuato un sondaggio con prelievo di campioni negli intervalli sabbiosi più significativi per verifiche del fuso granulometrico. Le analisi granulometriche (vedi allegati) hanno verificato la presenza di abbondante matrice limosa in tutti gli intervalli sabbiosi attraversati fino alla profondità di circa 11 m; sottostante tale quota, sono state raggiunte sabbie limose e ghiaiose e la terebrazione si è conclusa. In questo caso, pertanto, la discreta profondità (oltre 10 metri) di sedimenti caratterizzati da alternanze di argille e sabbie con elevata componente fine (passante al setaccio 200 ASTM > 20%) consente di escludere possibilità di liquefazione/addensamento e da effetti significativi in superficie.

In conclusione, nel territorio di San Lazzaro di Savena si ha:

- presenza di sedimenti di conoide sabbiosi e ghiaiosi, con matrice più o meno abbondante, attualmente insaturi e di potenza variabile. La possibile reversibilità delle condizioni di non saturazione può modificare la propensione alla liquefazione (attualmente esclusa);
- aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri, con intervalli sabbiosi che appaiono generalmente caratterizzati da abbondante matrice limosa e/o scheletro ghiaioso e da potenze poco significative. Ciò detto, la variabilità litologica e tessiturale locale dovuta alla presenza di strutture sabbiose sepolte, impone comunque una verifica puntuale della liquefazione ed il controllo dello spessore degli strati sabbiosi, dei fusi granulometrici caratteristici e della quota piezometrica.
- 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.

Per quanto riguarda la liquefazione, occorre premettere che i sismi attesi nell'area bolognese con magnitudo di 5,5 hanno epicentro nell'Appennino, mentre gli eventi dovuti alla struttura sepolta del ferrarese appaiono già troppo lontani per provocare effetti significativi per il territorio in esame: non si dovrebbero dunque avere effetti di liquefazione delle sabbie sature nella pianura in questione. Infatti, 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 risulta molto modesta (circa una decina di chilometri).

A questo proposito vale la pena ricordare che 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.

Sugli effetti della liquefazione rimane comunque 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. L'espansione insediativa di questi ultimi 50 anni ha inoltre interessato amplissime superfici in precedenza agricole, che sono quindi sfuggite all'osservazione nei casi censiti di terremoti storici.

La figura 1.5.1 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 alla tavola SI.B.1.6.

In appendice sono riportati i diagrammi relativi alla stratigrafia ricavata dal sondaggio citato ed alle analisi dei fusi granulometrici determinati nei campioni prelevati.

1.5 – MICROZONIZZAZIONE E PROPOSTA NORMATIVA

La microzonazione, sintesi grafica e geografica delle informazioni raccolte ed elaborate nel presente lavoro, è rappresentata nella tavola SI.B.1.6 allegata fuori testo. Nella tavola le zone sono distinte con una sigla alfanumerica che riporta:

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

La categoria di sottosuolo di fondazione riscontrata nell'intero territorio comunale è "C" (§1.4.1). Le velocità delle onde di taglio (V_s) sono state calcolate in parte tramite l'uso dei parametri geomeccanici derivati dalle CPTU-CPTE: queste ultime risultano abbastanza simili tra loro, (CPTU1 $V_s=228$ m/s; CPTU2 $V_s=195$ m/s). Le profondità raggiunte dalle penetrometrie (circa 2.5 metri dal piano campagna, causa rifiuto strumentale dovuto alla presenza di orizzonti granulari ghiaiosi) non risultano sufficienti per una reale valutazione della V_{s30} necessaria per la stima della categoria di sottosuolo di fondazione. Di conseguenza questi dati sono stati integrati

con quelli derivanti dalle prove MASW (Masw1 Vs=202 m/s; Masw2 Vs= 274 m/s; Masw3 Vs=360 m/s; Masw4 Vs=221 m/s; Masw5 Vs=233 m/s) e dalla ricostruzione della Vs30 tramite l'utilizzo del software per l'acquisizione delle tracce tomografiche (Vs30= 260).

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 le appropriate Vs . In appendice sono riportati i diagrammi delle indagini eseguite (penetrometrie, tomografie, MASW e sondaggio a carotaggio continuo).

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 SI.B.1.6 vengono perimetrate le cave note nel territorio comunale.

1.5.2 Liquefazione

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

- I – **Sedimenti granulari attualmente insaturi**: sono aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri. Si tratta di intervalli sabbiosi di potenza variabile, in condizioni di non saturazione probabilmente reversibile e alternati a livelli ghiaiosi;
- II – **Possibilità di liquefazione (spessore e tessitura da controllare)**: aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri, con intervalli sabbiosi che appaiono generalmente caratterizzati da abbondante matrice limosa e/o scheletro ghiaioso e da potenze poco significative. Ciò detto, la variabilità litologica e tessiturale locale dovuta alla presenza di strutture sabbiose sepolte, impone comunque una verifica puntuale della liquefazione ed il controllo dello spessore degli strati sabbiosi, dei fusi granulometrici caratteristici e della quota piezometrica;
- III – **Possibilità di liquefazione e di cedimenti da valutare**: aree in cui la presenza di tessiture granulari è stata verificata, almeno nei primi 10-12 metri, con intervalli sabbiosi meno profondi che possono avere spessori anche significativi (> un metro). Occorre pertanto verificare puntualmente la presenza di questi strati sabbiosi di potenza superiore al metro con possibilità di liquefazione e con cedimenti da valutare in sede di studio.

Il contesto sopra descritto dimostra la necessità di verificare puntualmente la presenza o meno di strutture sepolte sabbiose sature nei primi 15-20 metri dal p.c.

Nella fase di obbligatorio approfondimento per i POC/PUA, o anche nella fase di progettazione di massima, le indagini geognostiche avranno pertanto il compito di accertare nelle singole aree quanto scritto sopra, al fine di verificare la liquefacibilità dei sedimenti.

Le sigle riportate nella Tavola SI.B.1.6 riflettono la zonizzazione illustrata, e sono:

- **C-1**= sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ 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" ($180 < V_s < 360$ 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-I-1**= sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s) sedimenti insaturi in cui è attualmente improbabile 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; $F.A. = 2.6$ per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.
- **C-I-2**= sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s) sedimenti insaturi in cui è attualmente improbabile 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; $F.A. = 2.6$ per periodi da 0.5 secondi a 1 secondo.
- **C-I-3**= sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s) sedimenti insaturi in cui è attualmente improbabile 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-I-4**= sottosuolo di fondazione "C" ($180 < V_s < 360$ m/s), sedimenti insaturi in cui è attualmente improbabile 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; $F.A. = 2.1$ 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 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-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 – La tavola SI.B.1.6 del Quadro Conoscitivo relativo al P.S. Comunale di San Lazzaro di Savena, rappresenta l'approfondimento dello studio di pericolosità sismica 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 (Capoluogo; Idice; La Cicogna; Borgatella; Zona industriale La Cicogna). La tavola SI.B.1.6 riporta 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 Oz.B.1.6a e Oz.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 Vs (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 Vs 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 Vs almeno per i primi 31 metri dal p.c, misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione 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

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.

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.

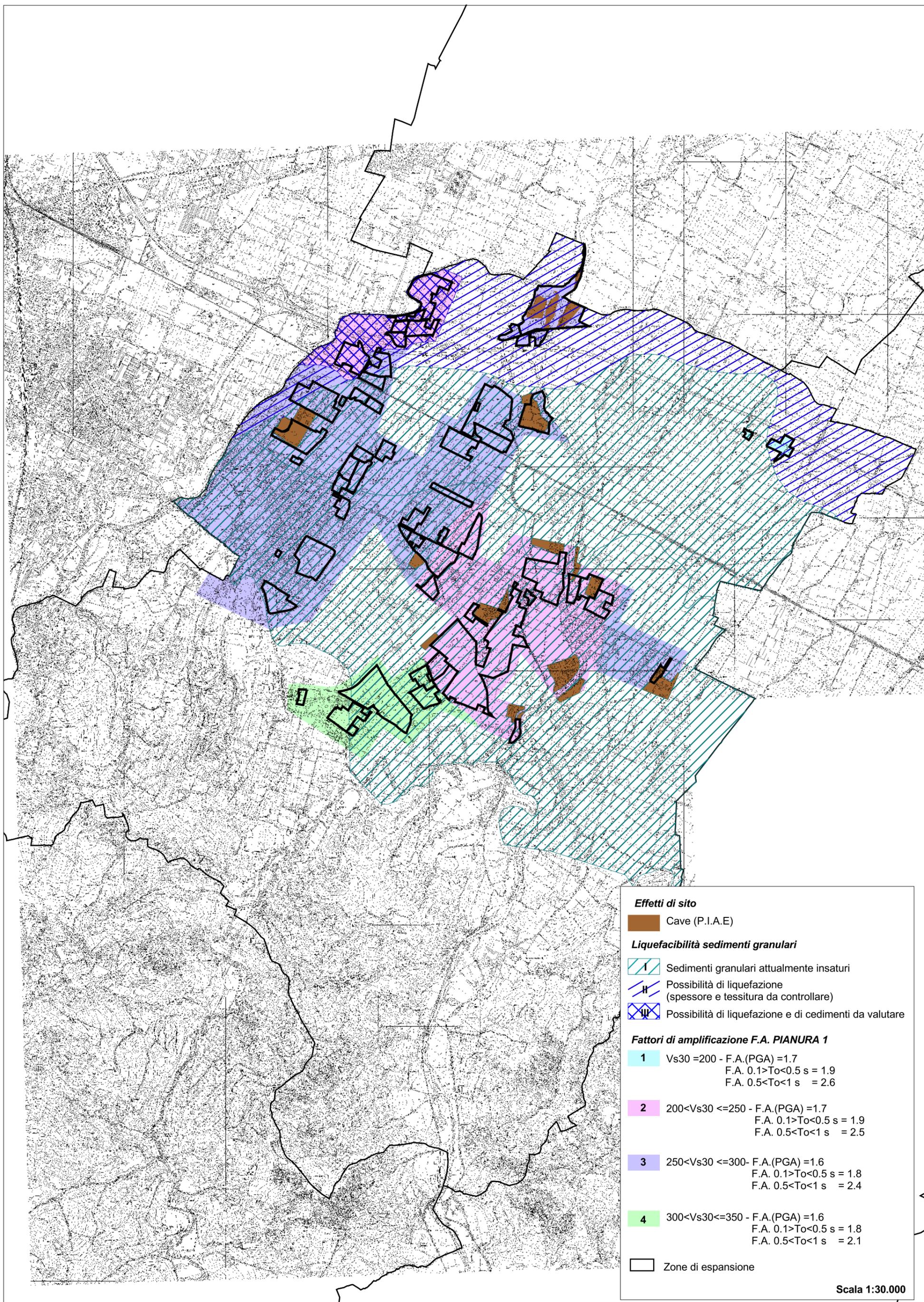


Figura 1.5.1-quadro di insieme degli effetti di sito e delle aree studiate per la microzonizzazione sismica