

A&T

AMBIENTE E TERRITORIO

VIA RECCHI, 70 - 44122 FERRARA

TEL. E FAX 0532.902846

P.IVA 01463580389

E-MAIL: fg@ambienteterritorio.191.it

RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA

COMMITTENTE:

C.I.S.A. Costruzioni S.r.l.
Via Ladino n. 29
Porotto (FE)

Collini Roberta
Via delle Statue 29
Ferrara

Tecnocostruzioni S.n.c.
Via Majocchi Plattis 5
Ferrara

PROGETTO:

Piano Particolareggiato
di Iniziativa Privata
Via Galvana
Ferrara

Ferrara, 28 marzo 2011

Dott. Geol. Graziella Fantin



The stamp is circular and blue, containing the text: "AMBITO GEOLOGICO REGIONALE EMILIA ROMAGNA", "DOTT. GRAZIELLA FANTIN", "PROFESSIONE GEOLOGO", "SEZA", and "N. 952 ALBO P.N.". The signature is written in black ink over the stamp.

INDICE

1	Premessa	3
1.1	Normativa di riferimento	5
2	Inquadramento dell'area	6
3	Inquadramento geologico e geomorfologico regionale	8
4	Indagini geotecniche in situ	17
4.1	Modalità d'indagini	19
5	Inquadramento geologico e geomorfologico locale	22
5.1	Assetto litostratigrafico e geomorfologico	22
5.2	Falda freatica	25
6	Modellazione geotecnica del sottosuolo	26
7	Liquefazione terreni	31
8	Stima dei cedimenti post sismici dei terreni coesivi	33
9	Sismica	36
9.1	Condizioni topografiche	39
9.2	Indagine sismica in situ	40
9.3	Classificazione sismica del sottosuolo	41
10	Valutazione di compatibilità con il rischio industriale	52
11	Valutazione di compatibilità con il rischio idraulico	53
12	Valutazione di compatibilità con il rischio da incendio boschivo	55

Allegati:

- Allegato 1 – Elaborazione prove penetrometriche statiche
- Allegato 2 - Certificati analisi laboratorio geotecnico

1 Premessa

La scrivente è stata incaricata dalle società C.I.S.A. Costruzioni S.r.l. con sede a Porotto (FE) e Tecnocostruzioni S.n.c. con sede a Ferrara e dalla ditta Collini Roberta residente a Ferrara ad eseguire una serie di indagini geologico-geotecniche relative al Piano Particolareggiato del sito posto in Via Galvana a Ferrara.

L'indagine geognostica è stata così articolata:

- tre campioni indisturbati **SH1, SH2 e SH3** realizzati nella porzione di terreno compresa tra 1,80 metri e 6,90 metri dal piano campagna;
- tre prove penetrometriche **CPTA, CPTB e CPTC** spinte fino alla profondità massima di 6 mt dal p.c. di riferimento;
- un'indagine sismica diretta con esecuzione di n. 1 stendimento tipo MASW;
- un rilievo del livello piezometrico della falda idrica nei fori di prova;
- l'elaborazione dati e stesura della presente relazione.

Per la redazione della presente relazione sono stati utilizzati i dati geologici e geotecnici delle seguenti relazioni fornite dalla Committenza:

- "Relazione geologico geotecnica – Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata" redatto dalla scrivente Dott. Geol. Fantin Graziella (settembre 2000)
- "Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata – Caratterizzazione geologica preliminare" redatta dal Dott. Geol. Talassi Paolo di Ferrara (agosto 2007).

La presente relazione fornisce i parametri necessari alla modellazione geologica e geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo, e definisce la Classe Sismogenetica del sito indispensabile al fine della definizione delle caratteristiche di risposta elastica dei terreni fondali.



Figura 1.1 – Inquadramento territoriale dell'area (foto aerea estratta dal sito google.earth)

Il presente progetto è stato articolato nelle seguenti fasi:

- modellazione geologica del sito;
- caratterizzazione sismica
- caratterizzazione e modellazione geotecnica.

Il modello geologico del sito è stato orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

La caratterizzazione geotecnica è consistita nell'individuazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei diversi litotipi, necessarie alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo.

La relazione contiene la descrizione di tutte le indagini, anche pregresse, realizzate ed i relativi parametri identificativi dei terreni attraversati. Dall'elaborazione di questi dati si è elaborato il modello geologico e geotecnico del terreno di fondazione, necessario per eseguire le verifiche di stabilità e di deformabilità, secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Viene altresì effettuata un'analisi della pericolosità locale in relazione ai rischi che gravano sul territorio, quali il rischio idraulico, industriale e incendi boschivi.

1.1 Normativa di riferimento

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Ordinanza n. 3274)"* e successive modifiche.

Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna del 2 maggio 2007, n. 112 *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la Pianificazione territoriale ed urbanistica"*.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti *"Norme tecniche per le Costruzioni"*, D.M. 14/01/2008.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - C.S.LL.PP: *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

2 Inquadramento dell'area

L'area in esame si trova ad una quota di circa 10-12 mt sul livello del mare è ubicata all'interno del comune di Ferrara in località Chiesuol del Fosso ed è delimitata ad est da Via Galvana, mentre nei lati nord, ovest e sud confina con altre proprietà.

Essa è identificata catastalmente dal foglio 249 e mappali 348, 148, 386, 352, 384 e 48.

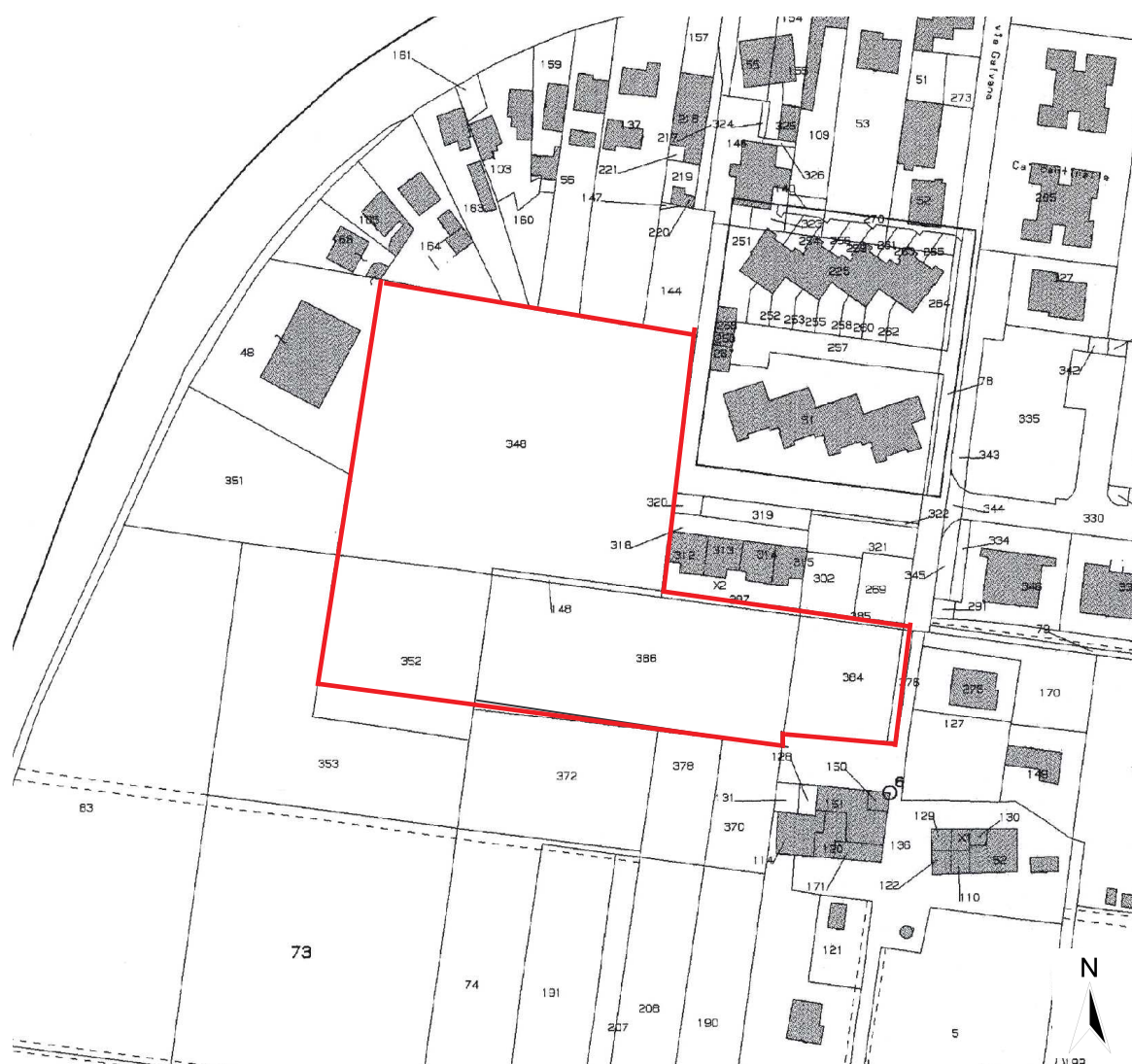


Figura 2.1 – Ubicazione area (Estratto catastale)

Il Piano Regolatore vigente identifica l'area oggetto di studio con la seguente zona:
C2 "Aree di espansione residenziale"

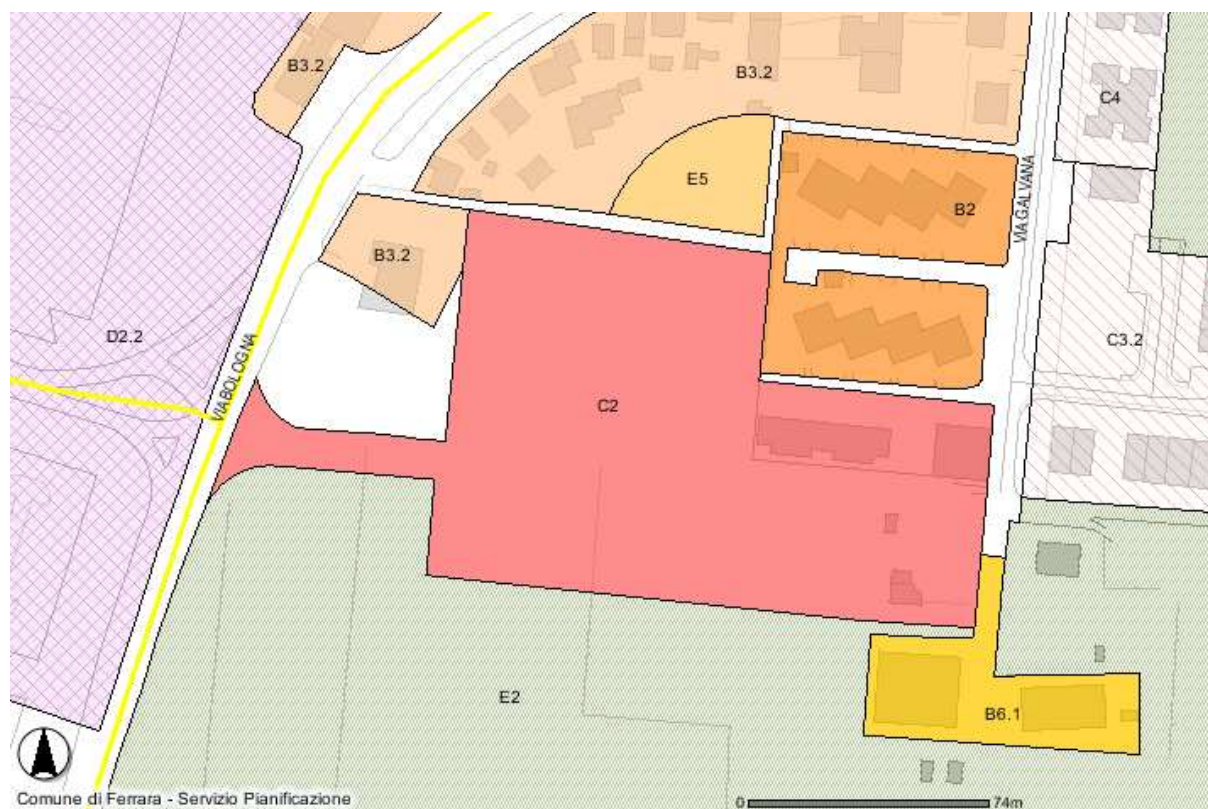


Figura 2.2 – Estratto PRG

3 Inquadramento geologico e geomorfologico regionale

Le seguenti considerazioni sono state tratte dalla relazione *"Valutazione del rischio geotecnico delle aree edificate ed edificabili del PSC del comune di Ferrara"* redatta dal Consorzio Ferrara ricerche (2008).

Il territorio del comune di Ferrara si trova nella Pianura Padana, una depressione tettonica formatasi fra le Alpi e gli Appennini quando tali catene montuose si sollevarono ed emersero dal mare in seguito a fenomeni orogenetici, e successivamente colmata da depositi di materiali sciolti di origine marina e fluvio-deltizia.

Nella pianura del comune di Ferrara, in superficie affiorano in modo uniforme sedimenti olocenici di piana alluvionale che si spingono in profondità per diversi di metri.

Seguono, all'aumentare della profondità, depositi più antichi di piana deltizia o alluvionale, depositi fluvio-deltizi e litorali, depositi marini e infine la roccia vera e propria, variamente deformata e fratturata; gli ultimi depositi marini sono di tipo sabbioso, di spiaggia, a testimonianza del graduale colmamento del bacino. Le rocce più recenti sono rappresentate da accumuli detritici disordinati e caotici, in quello che era un golfo marino in subsidenza. Le rocce più antiche costituiscono una parte sepolta dell'Appennino; in particolare, l'area oggetto di studio insiste su una serie di pieghe anticlinali associate a faglie, la cosiddetta Dorsale ferrarese, il cui movimento è la causa dei terremoti che si sono registrati nella zona.

I sedimenti olocenici superficiali (mediamente primi 20 metri di profondità), di interesse applicativo per la pianificazione territoriale, sono la conseguenza della fase di accumulo detritico di tipo prevalentemente fluviale, successiva alla completa emersione della pianura ferrarese.

La deposizione di tipo fluviale, avvenuta in modo non uniforme, ha avuto come conseguenza diretta un'estrema eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sia in senso verticale che areale, per cui l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. In epoca olocenica e storica l'area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica, i cui corsi d'acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica) erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa

energia di trasporto). Questo comportamento è confermato anche dall'assetto altimetrico della zona: il territorio del comune di Ferrara è caratterizzato da fasce di terreno più elevate, in corrispondenza dei corsi fluviali esistenti ed estinti (sedimenti grossolani meno compressibili) e da varie zone depresse (sedimenti fini maggiormente compressibili).

Nel territorio del comune si possono quindi distinguere entro i primi 20 m di profondità tre *ambienti morfologici - deposizionali* principali:

1. *Ambiente dei paleoalvei*, caratterizzato dalla presenza di corpi sabbiosi inclusi in macrostrati di terreni fini. Tali corpi sabbiosi, talvolta affioranti, spesso sepolti, si sviluppano linearmente seguendo i corsi degli alvei fluviali attivi o estinti; generalmente sono sormontati da decimetri di fanghi di chiusura dei canali.
2. *Ambiente dei bacini interfluviali*, costituito dalle aree di sedimentazione delle frazioni più fini. Tale ambiente è caratterizzato dalla prevalenza di argille inorganiche, argille limose, limi argillosi laminati, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose.
3. *Ambiente di transizione* dalle zone di paleoalveo a quelle dei bacini interfluviali, caratterizzato da alternanze di materiali fini e lenti sabbiose.

I depositi di epoca olocenica superficiali insistono su depositi sabbiosi di età fine-Pleistocene/primo-Olocene (ambienti di steppa-taiga glaciale di media pianura) diffusi con continuità in tutto il territorio comunale, più superficiali a nord, dove il tetto delle sabbie glaciali si trova tra i 18 m e i 25 m di profondità, più approfonditi a sud, dove il tetto si spinge fino ad oltre 30 m.

Gli ambienti morfologici - deposizionali descritti sono ben evidenziati nella Carta Geologica Provinciale di Pianura rappresentata, limitatamente al territorio comunale, in Figura 3.1. Le informazioni contenute nella carta sono sostanzialmente riferibili alla superficie; oltre alla caratterizzazione litologica dei depositi superficiali essa riporta la suddivisione in ambienti deposizionali.

Nel territorio del Comune di Ferrara la carta evidenzia la presenza di:

- aree interfluviali e depositi di palude, caratterizzati da argille limose, argille e limi argillosi laminati;
- depositi di palude, caratterizzati da limi e limi argillosi;

- depositi di argine distale, caratterizzati da limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose;
- depositi di canale distributore e di argine, caratterizzati da sabbie da medie a fini;
- depositi di canale e argine prossimale, caratterizzati da sabbie medie e fini;
- depositi di piana a meandri, caratterizzati da sabbie medie e grossolane.

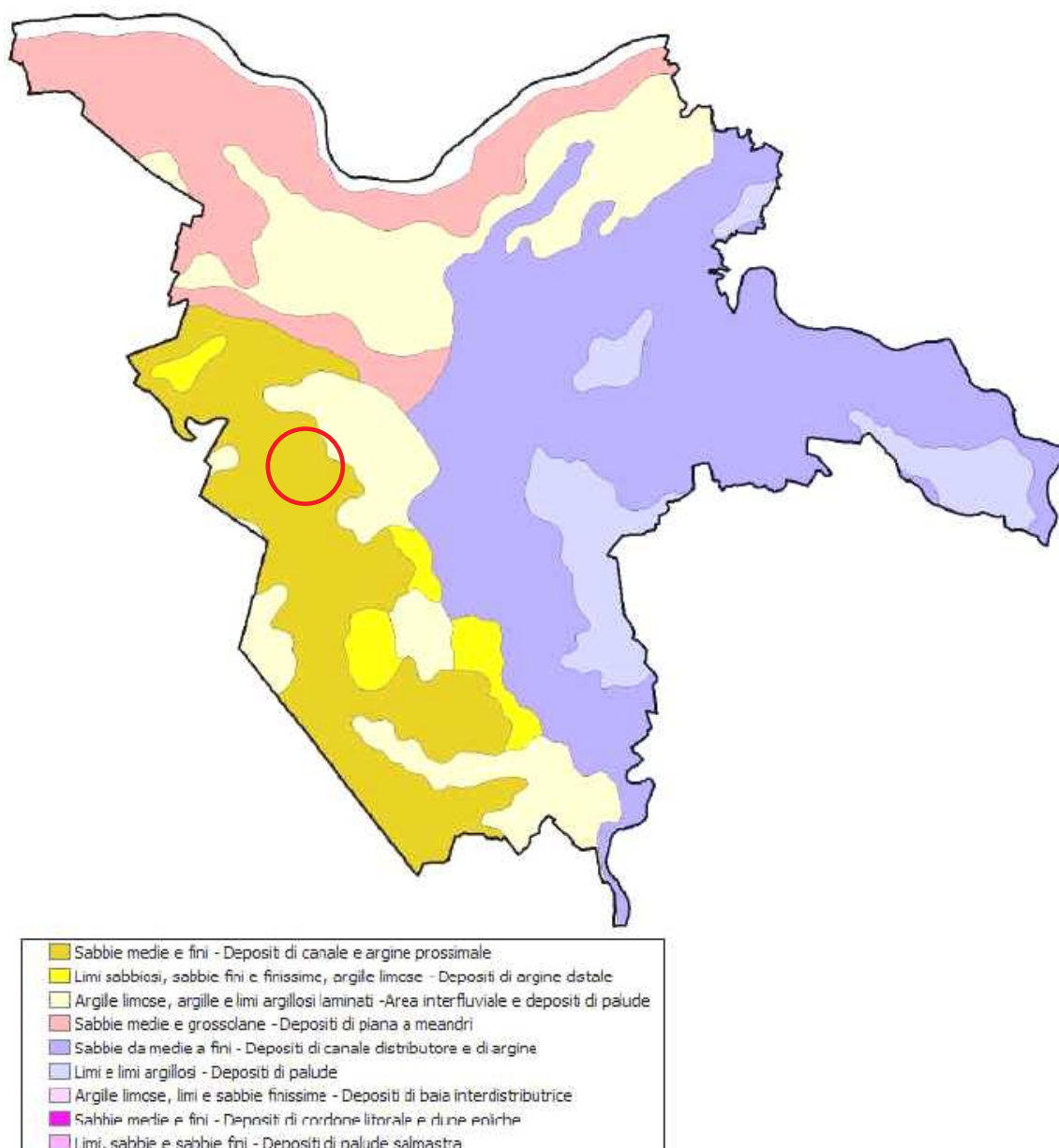


Figura 3.1 – Stralcio della carta geologica di pianura (si riporta in rosso l'area oggetto d'indagine)

Sovrapponendo alla Carta Geologica la Carta Geomorfologia Comunale (Figura 3.2), si ha conferma del fatto che la distribuzione degli ambienti deposizionali descritti è funzione della storia morfologica del territorio ferrarese. I materiali più grossolani (sabbie) si sono concentrati nelle aree di paleoalveo e nelle loro immediate vicinanze, mentre i terreni a grana fine si sono depositati nelle zone più distanti.

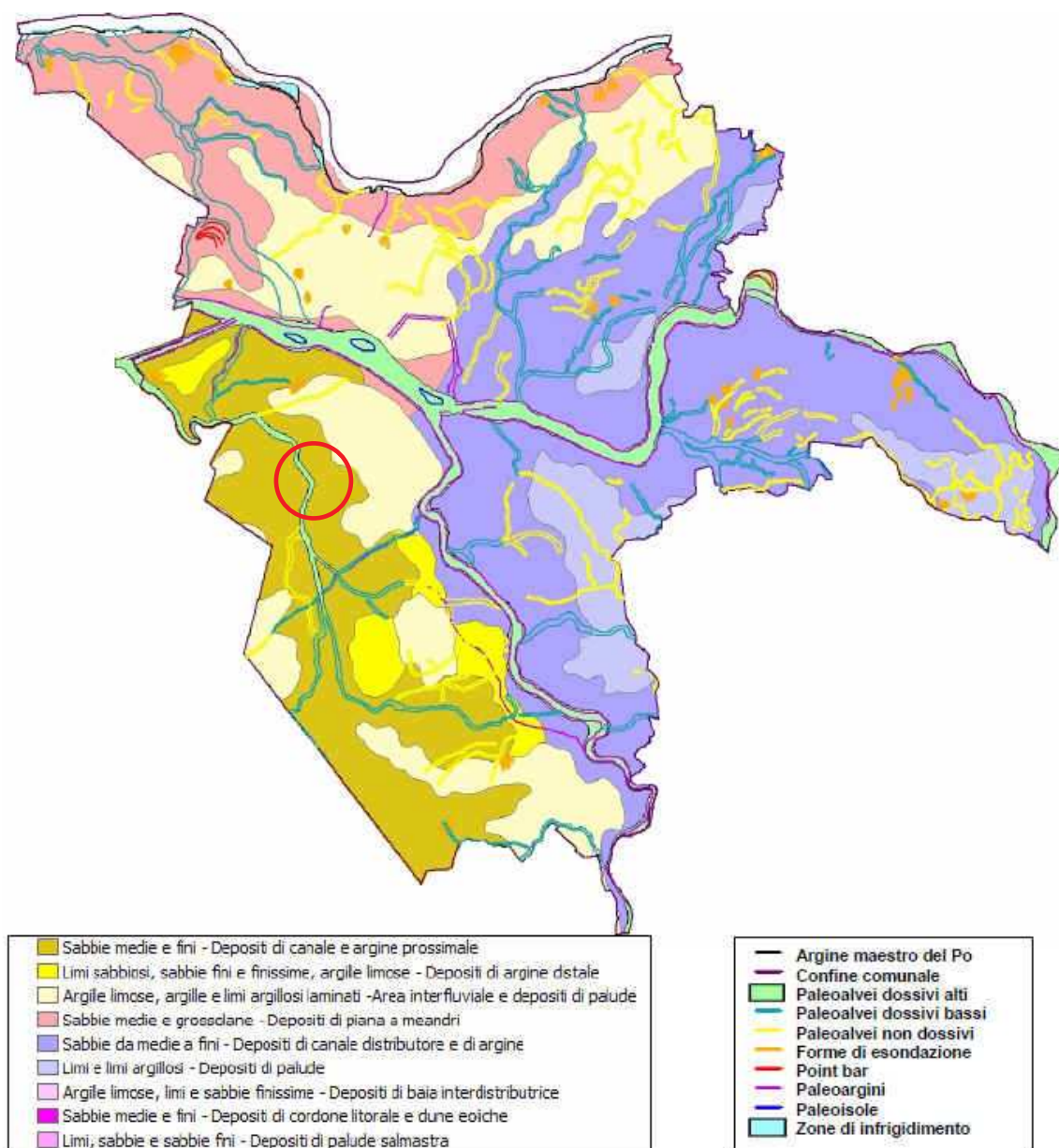


Figura 3.2 – Sovrapposizione della carta geologica di pianura e della carta geomorfologica comunale (si riporta in rosso l'area oggetto d'indagine)

La distribuzione litologica dei sedimenti più superficiali (primi 80 cm dal piano campagna locale) è anch'essa legata alla dinamica delle divagazioni fluviali del reticolo idrografico che caratterizzava la zona. La Carta della Litologia di Superficie Comunale (Figura 3.3) evidenzia un'estrema variabilità dei litotipi affioranti e in generale una prevalenza di miscele ternarie di argilla, sabbia, limo in corrispondenza dei paleoalvei, e di argille e argille limose lontano da essi.

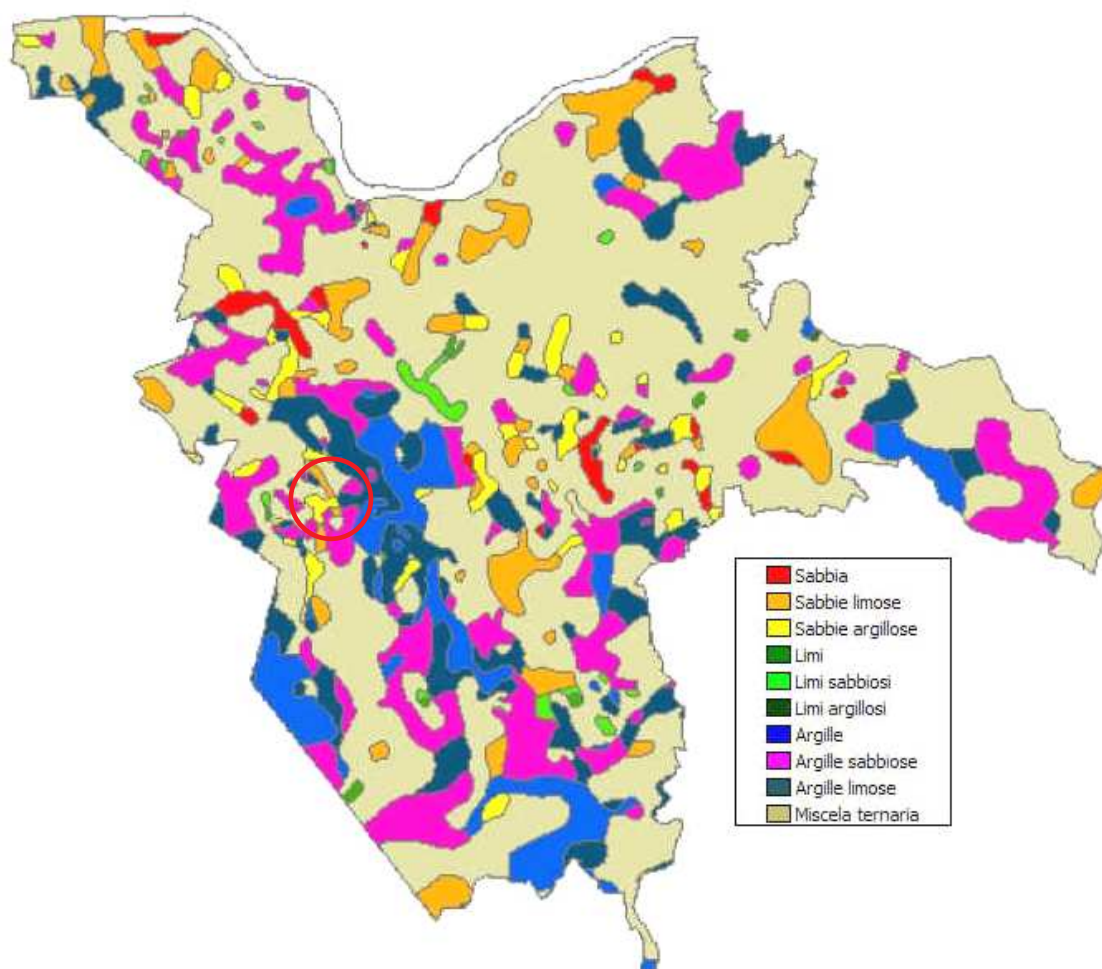


Figura 3.3 – Carta della Litologia di Superficie Comunale (si riporta in rosso l'area oggetto d'indagine)

Inoltre, come evidenziato dalla Carta della Profondità della Superficie Freatica Comunale (Figura 3.4), la falda freatica ha superficie libera sempre molto prossima al piano campagna. Generalmente presenta degli "alti" in corrispondenza dei paleoalvei, e dei "bassi" relativi in corrispondenza dai catini interfluviali. Le escursioni della superficie libera tra periodo invernale e periodo estivo sono mediamente inferiori a 1 m.

Come evidenziato nella relazione idrogeologica allegata al quadro conoscitivo del PSC del Comune di Ferrara, la falda freatica, non è interpretabile come un corpo d'acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti nei litosomi sabbiosi e sabbio-limosi, separati da plaghe argillose o limoso-argillose ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria.

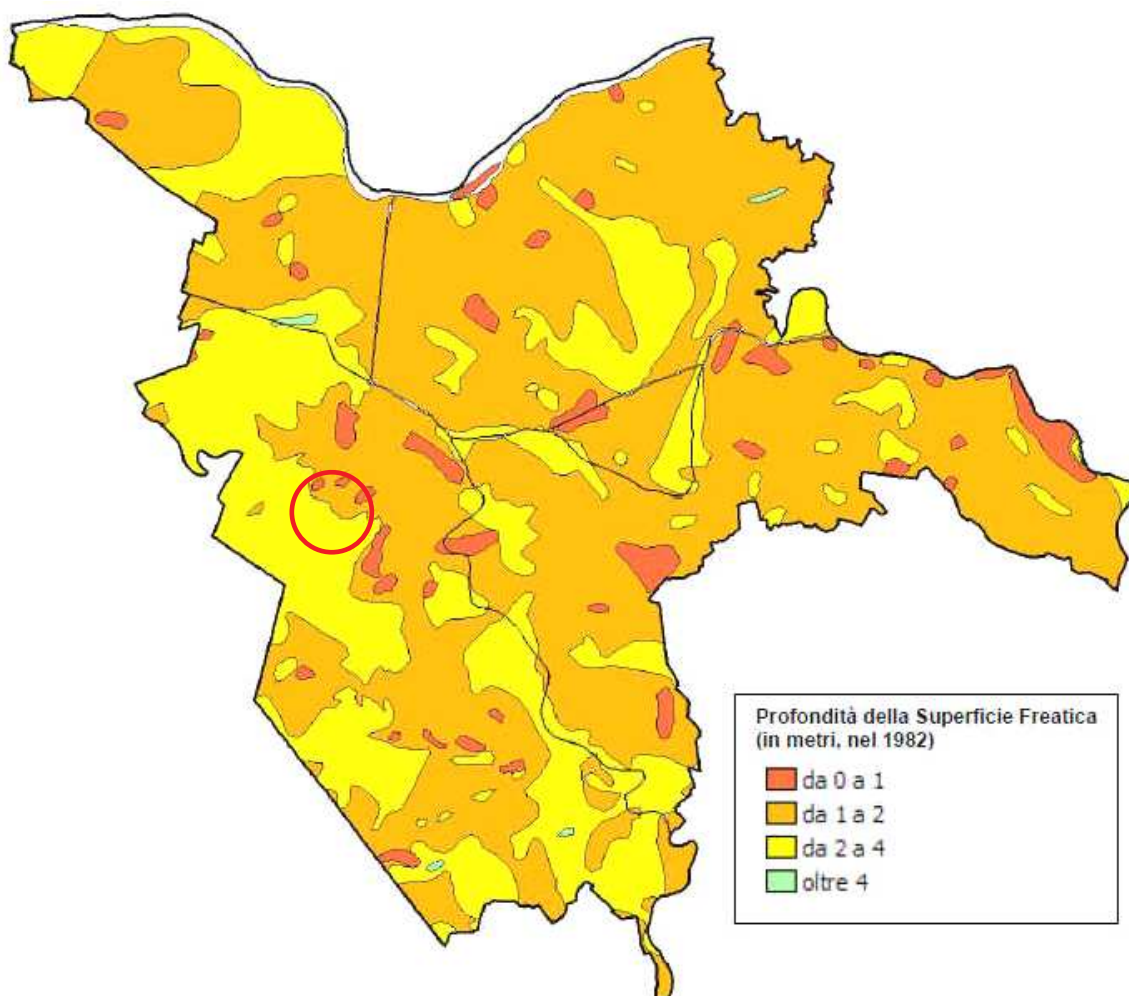


Figura 3.4 Carta della Profondità della Superficie Freatica Comunale (si riporta in rosso l'area oggetto d'indagine)

La Regione Emilia Romagna è stata interessata in passato da attività sismico-tettonica con eventi di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter ed intensità pari a IX-X grado della scala MSC, che ne hanno determinato la classificazione in zona a "media sismicità", relativamente alla sismicità nazionale.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha elaborato la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Figura 3.6) in riferimento all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 (n. 3519, All.1 b) in cui si evidenzia l'accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14/09/'05).

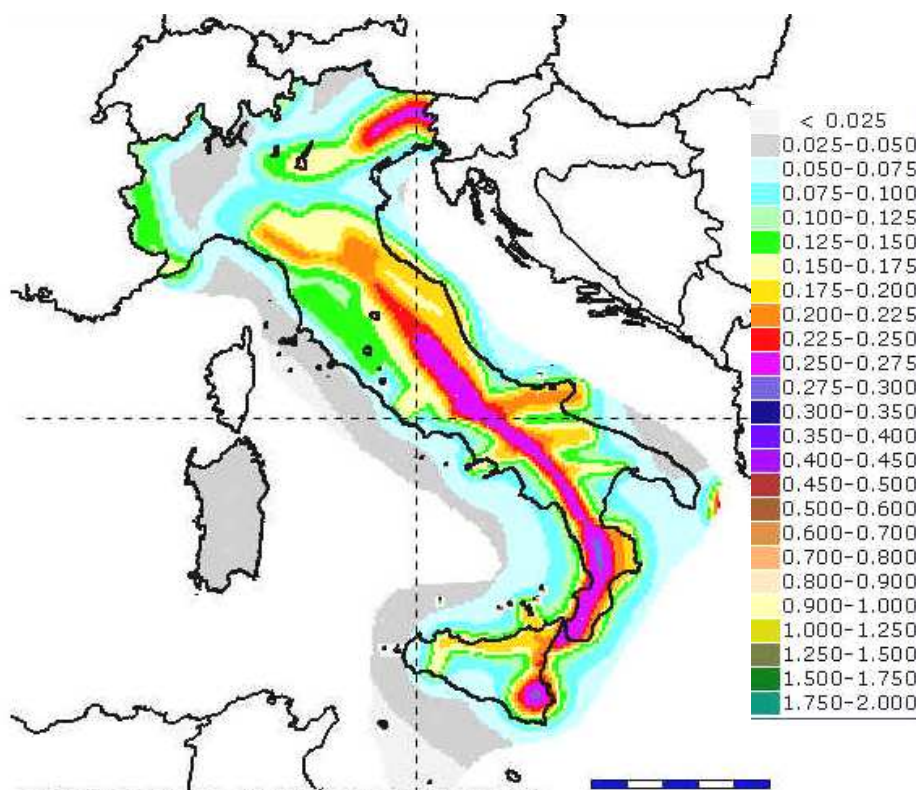


Figura 3.6 Mappa della pericolosità sismica

La classificazione della categoria del suolo permette inoltre di definire una serie di parametri, utili alla determinazione dello spettro di risposta elastico ai fini progettuali, per la componente orizzontale e verticale, come di seguito riportato:

- valori dei parametri dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

- valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A, B, C, E, D	1,0	0,05	0,15	1,0

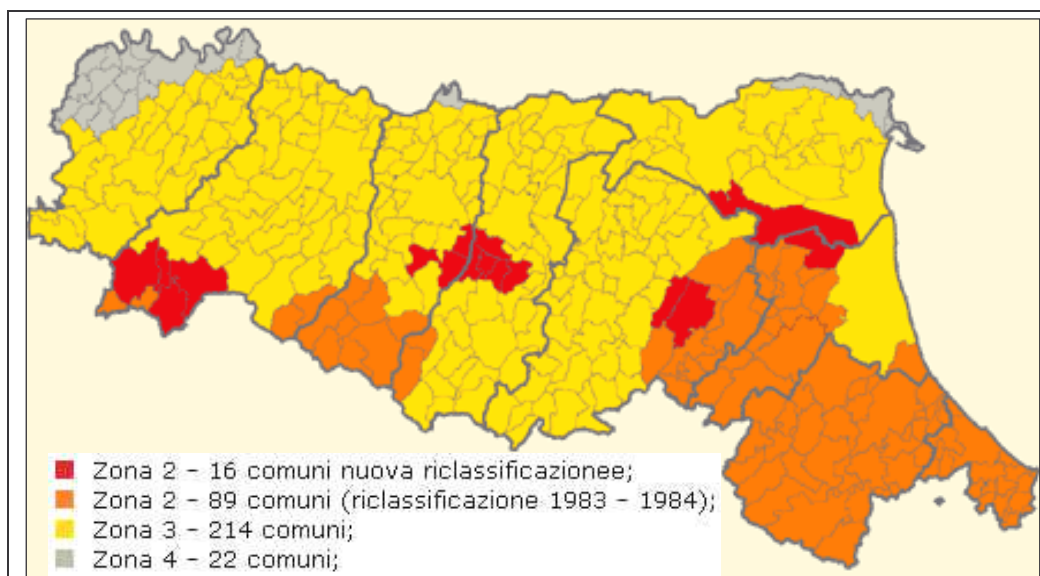


Figura 3.7 – Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna.

4 Indagini geotecniche in situ

Nell'area in esame sono state eseguite una serie d'indagini in tempi diversi, in particolare:

- indagine settembre 2000

per conto della società C.I.S.A. Costruzioni S.r.l. di Ferrara è stata eseguita, da parte della scrivente Dott. geol. Fantin Graziella, una relazione geologico geotecnica per il Piano Particolareggiato di iniziativa privata con l'esecuzione di tre prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2 e CPT3) spinte fino alla profondità di 12 metri dal piano campagna;

- indagine agosto 2007

per conto della società Tecnocostruzioni S.n.c. di Ferrara è stata eseguita, da parte del Dott. Geol. Talassi Paolo di Ferrara, un'indagine geologica preliminare per determinare le caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni interessati dal Piano particolareggiato di iniziativa privata mediante l'esecuzione, su richiesta del Committente, di tre prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2 e CPT3) spinte fino alla profondità di 15 metri dal piano campagna

- indagine febbraio 2011

per conto delle società C.I.S.A. Costruzioni S.r.l. di Porotto (FE) e Tecnocostruzioni S.n.c. di Ferrara e della ditta Collini Roberta di Ferrara sono state eseguite dalla scrivente e su richiesta dei Committenti, una serie di indagini geognostiche relative al Piano Particolareggiato, in particolare tre prove penetrometriche statiche (CPTA, CPTB e CPTC) spinte fino alla profondità massima di 6 metri dal piano campagna, un'indagine sismica tipo MASW e tre prelievi campione di terreno indisturbato.

In figura 4.1 si riportano l'ubicazione di tutte le indagini eseguite in situ.

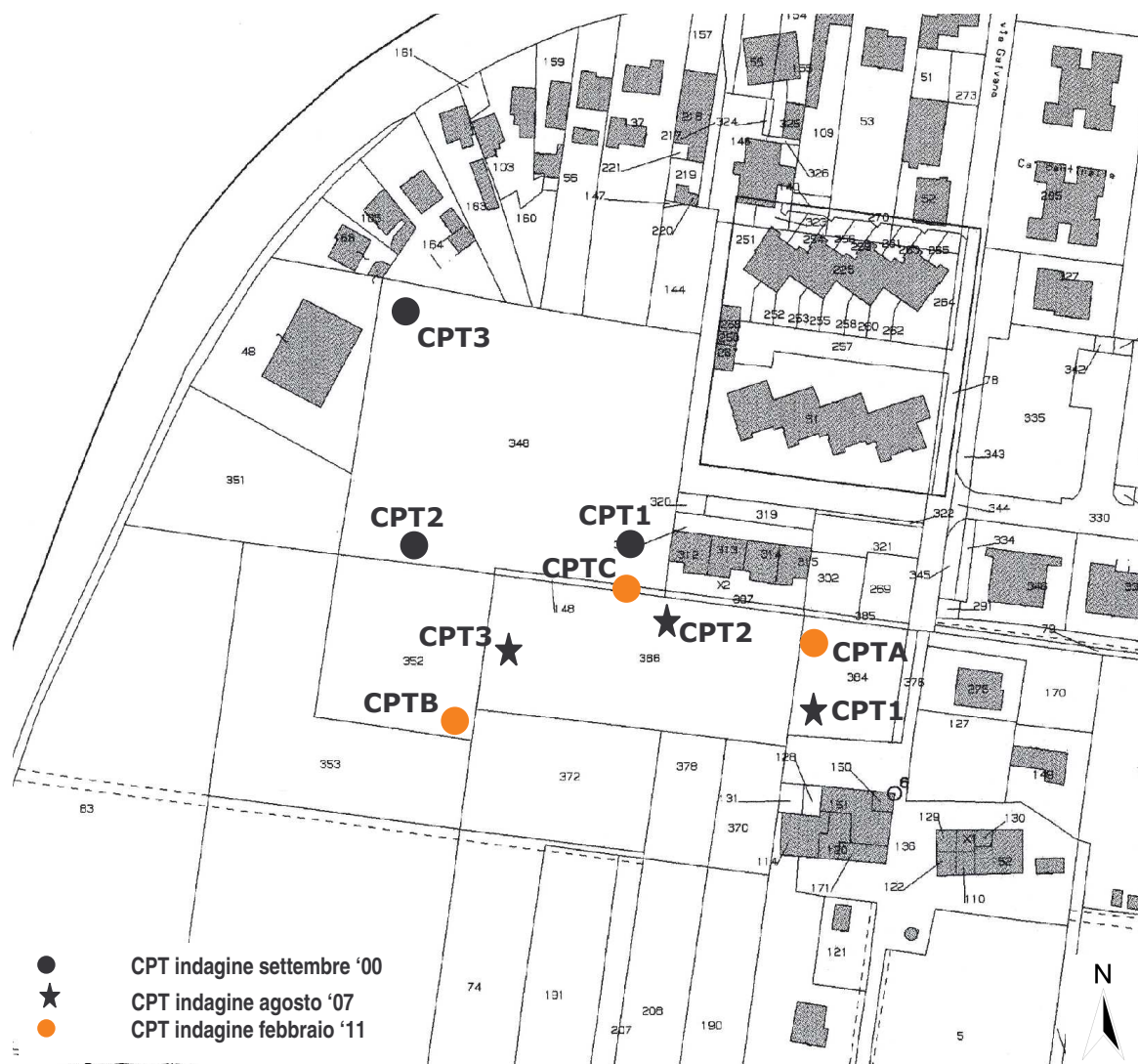


Figura 4.1 – Ubicazione indagini (anno 2000-2007 e 2011)

4.1 Modalità d'indagini

La **prova penetrometrica statica** (CPT) consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta meccanica "tipo Begemann", con velocità costante di 2 cm/sec, misurando, con continuità, lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta. La prova CPT risulta essere particolarmente utile nel rilevamento dell'andamento stratigrafico verticale e nell'individuazione della tipologia dei terreni attraversati.

Le dimensioni della punta e del manicotto sono standardizzate, e precisamente:

diametro di base del cono = 37,5 mm

angolo di apertura del cono = 60°

Il manicotto ha una superficie laterale di 150 cm². Le aste cave hanno il diametro esterno di 36 mm.

Vengono rilevati, ogni 20 cm, i seguenti parametri:

- resistenza all'avanzamento della sola punta R_p (Kg/cm²) = $L_{\text{punta}} * C_t/10$;
- resistenza all'avanzamento delle sole aste cave R_L (Kg/cm²) = $(L_{\text{Lat.}} - L_{\text{Punta}}) * C_t/150$.

La prova CPTU permette di:

- ricostruire l'andamento stratigrafico lungo la verticale investigata
- determinare le caratteristiche di resistenza dei terreni attraversati
- individuare i tipi di terreno attraversati
- interpolare l'andamento degli strati fra indagini diverse.

Il **prelievo campioni indisturbati** è stato effettuato alle seguenti profondità e all'interno dei seguenti fori:

SH1 4,40-4,75 mt dal piano campagna di riferimento in CPTA

SH2 1,80-2,15 mt dal piano campagna di riferimento in CPTB

SH3 6,50-6,90 mt dal piano campagna di riferimento in CPTC

Il campionatore utilizzato è di tipo aperto Shelby (campionatore in acciaio inox a pareti sottili) costituito da una testa con valvola a sfera e relativi sfiati collegata con viti a frugola al tubo di infissione che funge da contenitore del campione di terreno.

L'indagine sismica ha lo scopo di acquisire le velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde sismiche di taglio "Vs" generate da una sorgente energizzante.

La disponibilità del parametro "Vs" ha consentito di verificare i seguenti aspetti:

- determinazione della "Vs30" (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità) per la classificazione sismica del sottosuolo (D.M. 14/01/2008);
- verifica indiretta delle consistenze e densità delle terre;
- determinazione del modulo di taglio dinamico, o rigidità " G_{max} ", delle terre.

La tecnica adottata per l'acquisizione delle onde "Vs" è attiva tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

Le considerazioni che hanno determinato tale scelta operativa sono state:

- acquisizione di un segnale sismico di qualità in considerazione della presenza di terre che determinano modesti valori di velocità delle onde sismiche;
- possibilità di verificare "l'inversione" delle velocità nei livelli di minore consistenza;
- presenza di "rumore di fondo" che avrebbe potuto alterare la qualità del segnale sismico acquisito.

La tecnica **MASW** si basa sul fenomeno della "dispersione" (variazione della velocità di fase delle onde sismiche in funzione della frequenza e lunghezza d'onda) delle onde superficiali, o onde di Rayleigh (hanno vibrazioni con un movimento complesso ellittico retrogrado con asse maggiore verticale), che avviene nei mezzi stratificati o eterogenei.

I parametri che condizionano le onde di Rayleigh sono: onde "Vs", spessore del mezzo, densità, onde "Vp".

Le velocità delle onde di Rayleigh corrispondono circa alla velocità delle "Vs" ($0.94 V_s$).

Le fasi di lavoro che caratterizzano questa tecnica sono essenzialmente tre:

- acquisizione del segnale sismico (sismogramma, ossia tempi di arrivo delle onde ai geofoni);
- elaborazione dello "spettro di velocità" (velocità di fase delle onde in funzione della loro frequenza) con il metodo di calcolo "Phase Shift", e determinazione della "curva di dispersione";
- "inversione" della curva di dispersione mediante calcolo automatico con utilizzo di algoritmi genetici (la modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio di spessore infinito).

II risultato finale è il profilo verticale (centrale allo stendimento) delle onde "Vs" in funzione della profondità.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione ed elaborazione dei dati MASW e le caratteristiche operative delle indagini sono state le seguenti:

- sismografo digitale ECHO 12-24 2002 prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l., caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.1 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;
- n. 1 stendimenti con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz e distanza intergeofonica 2 m (lunghezza totale dello stendimento 46 m);
- sorgente energizzante con massa battente da 10 Kg;
- n. 6 punti di energizzazione in sequenza ed esterni allo stendimento alla distanza di -2, -4, -6, -8, -10, -12 m dal geofono n. 1;
- tempo di acquisizione del segnale 1000 millisecondi;
- software WIN-MASW 4.2, prodotto dalla Eliosoft, per l'elaborazione dei dati sismici; il programma restituisce lo spettro di velocità, il modello sperimentale / medio / migliore della "curva di dispersione", ed infine il profilo verticale della Vs.

5 Inquadramento geologico e geomorfologico locale

L'inquadramento litostratigrafico, geomorfologico ed idrogeologico locale dell'area oggetto di studio è stato ricostruito utilizzando le relazioni e le campagne geognostiche effettuate in tempi diversi.

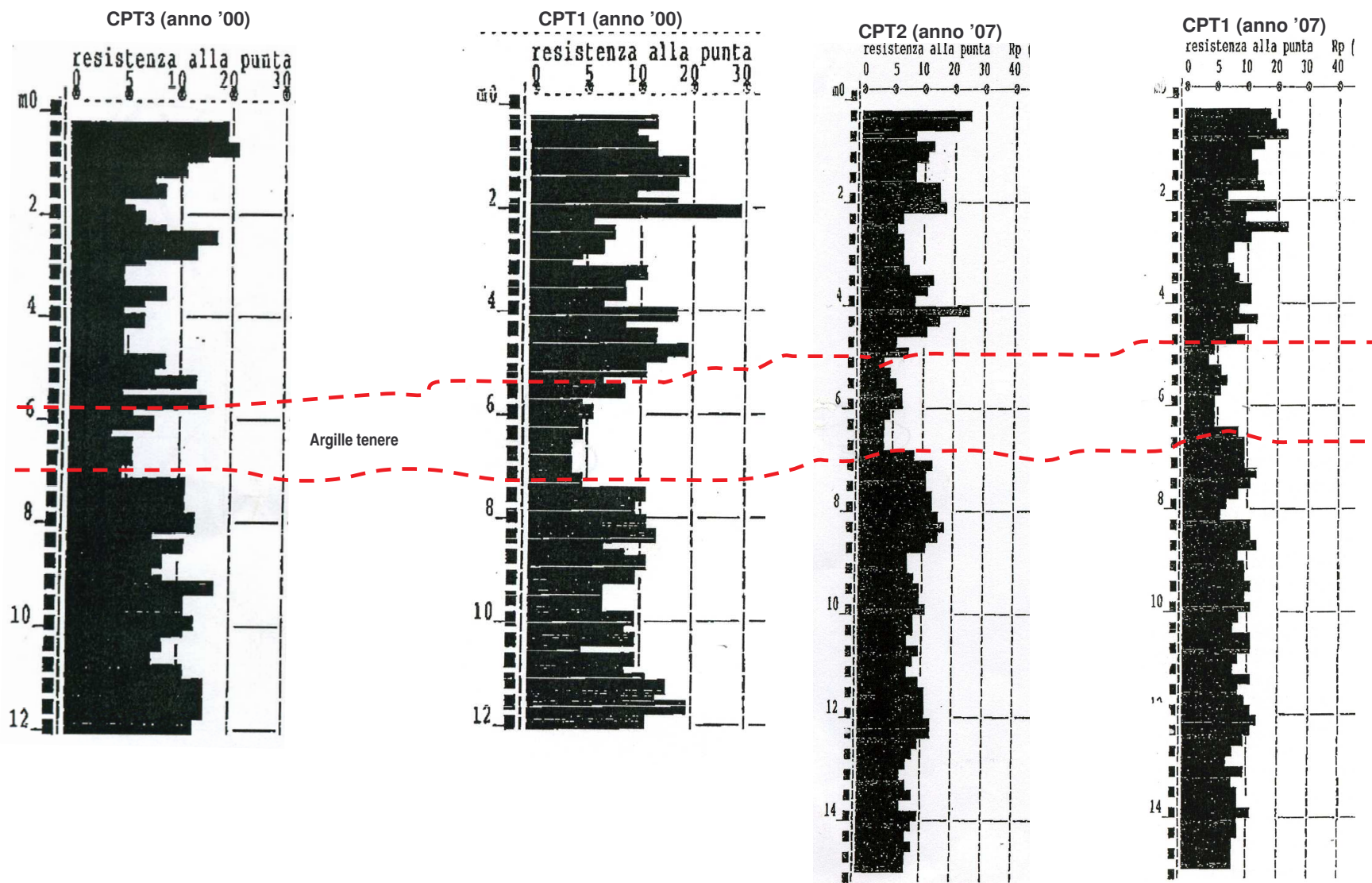
5.1 Assetto litostratigrafico e geomorfologico

Si riporta sinteticamente di seguito la successione litostratigrafica rilevata durante l'esecuzione delle indagini (anni 2000-2007-2011):

prevalenza di terreni limoso-argillosi da medi a molto compatti dal piano campagna a 15 metri di profondità con livelli limo-argilloso-sabbiosi mediamente addensati dal p.c. a 2,5 metri circa fino ad un massimo di 4 metri. Da 5-7 metri c.a. si trovano terreni argillosi teneri. Dalla stratigrafia si evince che vi è una discreta omogeneità laterale nelle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni.

Di seguito si riporta schematicamente l'andamento stratigrafico prendendo come riferimento alcune indagini penetrometriche.

Progetto: Piano Particolareggiato
di Iniziativa Privata
Comm.: C.I.S.A. Costruzioni S.r.l., Collini
Roberta, Tecnocostruzioni S.n.c.
Intervento: Via Galvana - Ferrara



Dalla cartografia interattiva allegata al PSC di Ferrara si osserva che l'area è interessata da elementi geomorfologici di rilievo, in particolare si rileva la presenza di un paleoalveo con andamento NW-SE.

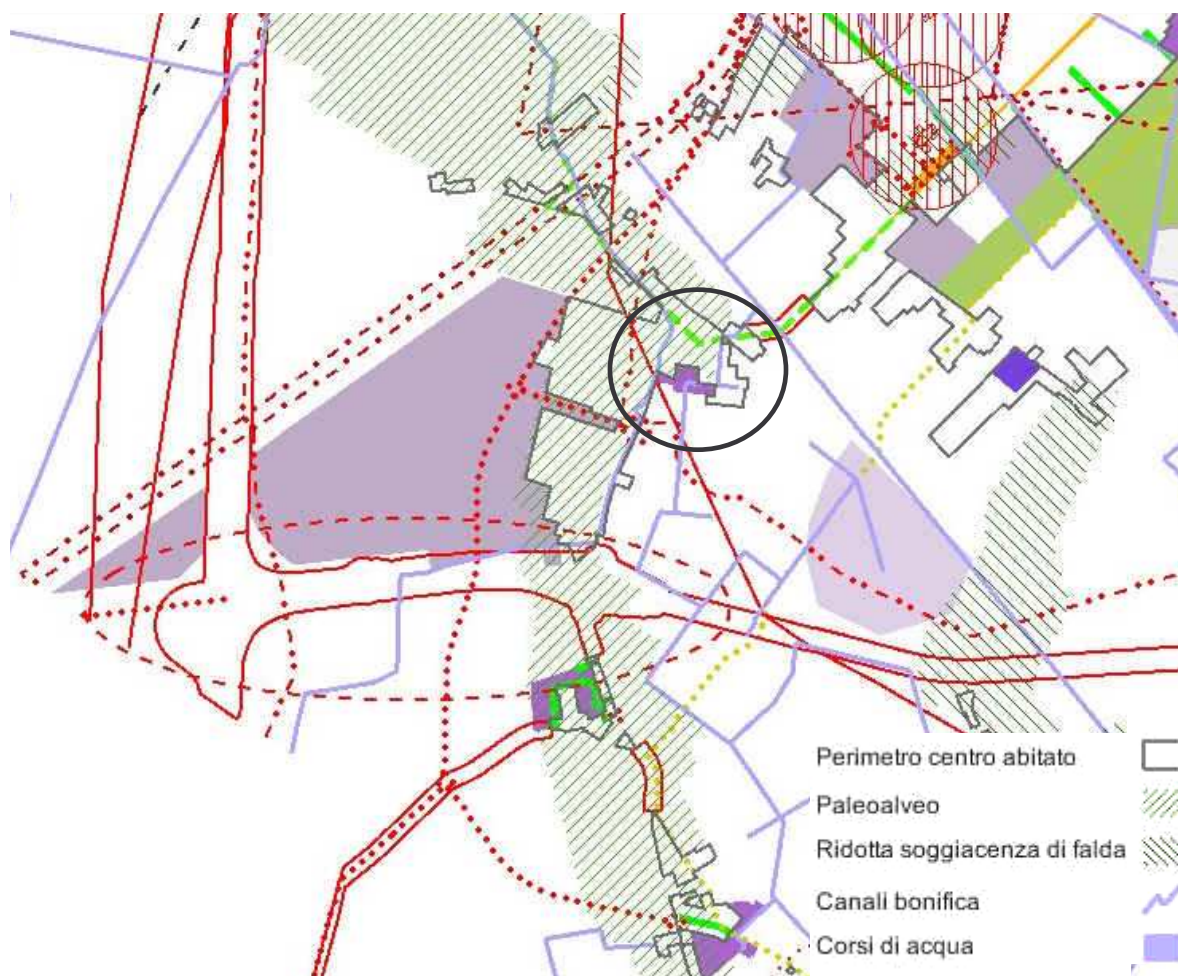


Figura 5.2 – Carta interattiva PSC Ferrara

5.2 Falda freatica

Nella programmazione territoriale massimo interesse assume la prima falda, normalmente indicata come "falda freatica".

Per quanto riguarda il sito in esame, al termine delle operazioni di cantiere, sono state misurate i livelli statici della falda freatica direttamente all'interno dei fori d'indagine:

Penetrometria	Data misurazione	Quota falda da p.c.
CPT1	15/09/00	-2,80 metri
CPT2		Foro chiuso a 3,00 mt
CPT3		Foro chiuso a 2,00 mt
CPT1	29/08/07	-2,35 mt
CPT2		-2,39 mt
CPT3		-2,80 mt
CPTA	21/02/11	-0,80 mt
CPTB		-0,70 mt
CPTC	12/03/11	-0,50 mt

Maggiori o minori apporti meteorici nel tempo possono mutare l'attuale assetto piezometrico alterandone soprattutto la profondità dal piano campagna. A conferma di ciò si osserva come, dagli ultimi rilievi effettuati, la soggiacenza della falda sia marcatamente inferiore rispetto a quanto registrato in passato.

6 Modellazione geotecnica del sottosuolo

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo è stata elaborata dai dati ricavati dalle prove penetrometriche statiche CPT1, CPT2 e CPT3 (campagna d'indagini agosto '07) e dalle prove CPTA, CPTB e CPTC (campagna d'indagini febbraio '11); nelle tabelle seguenti si riportano i valori medi dei principali parametri (resistenza alla punta q_c , resistenza al taglio non drenata C_u , modulo edometrico M_o) per singolo livello litologico.

Tabella 6.1 – Caratteristiche geotecniche (indagini agosto '07)				
Profondità da p.c. (m)	Terreni	q_c (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)	M_o (kg/cm ²)
CPT1				
0,2 – 2,6	Limi argillosi sabbiosi mediamente addensati	15,5	0,65	48,2
2,6 – 4,8	Limi argillosi da medi a molto compatti	9,6	0,47	39
4,8 - 6,4	Argille organiche tenere	5,3	0,27	22
6,4 - 15	Limi argillosi da medi a molto compatti	9,8	0,48	37,9
CPT2				
0,2 – 2,2	Limi argillosi sabbiosi mediamente addensati	14,6	0,58	45,1
2,2 – 5,0	Limi argillosi da medi a molto compatti	10,7	0,43	33,5
5,0 – 6,8	Argille organiche tenere	5,1	0,26	18,5
6,8 – 15,0	Limi argillosi da medi a molto compatti	10,2	0,5	39,3
CPT3				
0,2 – 2,6	Limi argillosi sabbiosi mediamente addensati	17,2	0,64	50,3
2,6 – 5,4	Limi argillosi da medi a molto compatti	8,5	0,40	26,9
5,4 – 6,8	Argille organiche tenere	4,7	0,24	17,8
6,8 – 15,0	Limi argillosi da medi a molto compatti	10,2	0,50	39,3

Tabella 6.2 – Caratteristiche geotecniche (indagini febbraio '11)				
Profondità da p.c. (m)	Terreni	qc (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)
CPTA				
0,2 – 2,4	Limi argillosi/argille limose debolmente sabbiose	12,9	0,58	43,8
2,4 – 4,4	Limi argillosi/argille limose	9,7	0,46	38,5
4,4 - 6,0	Argille debolmente limose	4,2	0,21	20,6
CPTB				
0,2 – 2,0	Limi argillosi/argille limose	6,3	0,32	25,7
2,0 – 2,6	Limi argillosi debolmente sabbiosi	13,6	0,60	47,3
2,6 – 5,4	Limi argillosi/argille limose	7,3	0,36	30,8
5,4 – 6,0	Argille	3,3	0,17	13,3
CPTC				
0,2 – 2,8	Limi argillosi/argille limose	8,3	0,41	35,2
2,8 – 4,6	Limi argillosi debolmente sabbiosi	17,5	0,68	51,2
4,6-6,0	Limi argillosi/argille limose	7,6	0,36	28,2
6,0 – 6,2	Argille	5,0	0,25	25

In Allegato 1 si riporta l'elaborazione delle prove con i relativi grafici delle resistenze.

Un ulteriore approfondimento della caratterizzazione geotecnica viene eseguito sulla base delle analisi geotecniche, eseguite presso il laboratorio Elletipi S.r.l. di Ferrara sui campioni prelevati rispettivamente:

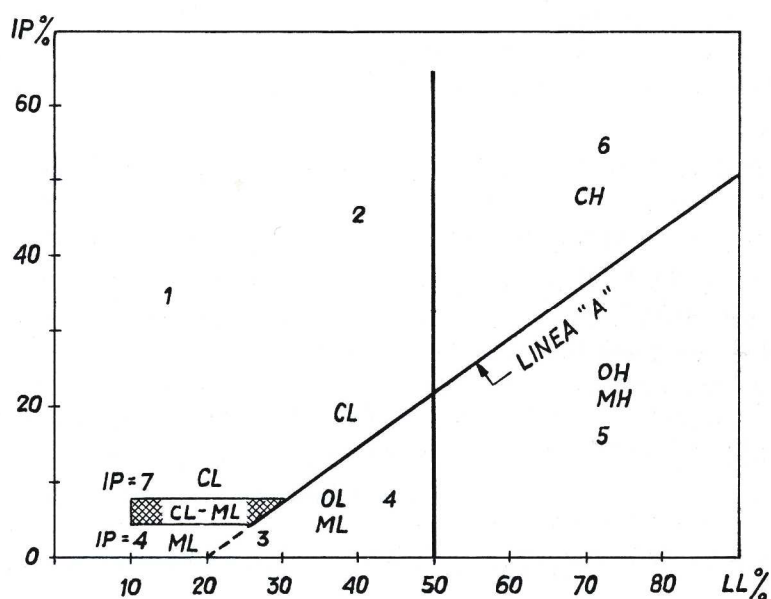
- SH1 4,40-4,75 mt dal piano campagna di riferimento in CPTA
- SH2 1,80-2,15 mt dal piano campagna di riferimento in CPTB
- SH3 6,50-6,90 mt dal piano campagna di riferimento in CPTC

Sui campioni sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- limiti di Atterberg (nei campioni SH1, SH2 e SH3)
- prova di consolidazione edometrica (nei campioni SH1 e SH3)

I certificati delle prove sono riportati nel relativo allegato (Allegato 2), mentre di seguito si riportano sinteticamente i risultati suddivisi per tipologie di analisi.

Per la **classificazione dei campioni di terreno**, si è utilizzato il sistema proposto da Casagrande (Carta di plasticità Figura 6.1) basato sui limiti di Atterberg in cui i dati utilizzati sono il limite liquido e l'indice di plasticità.



Carta di plasticità (*)
(secondo A. Casagrande)

- (1) Argille inorganiche di bassa plasticità.
- (2) Argille inorganiche di media plasticità.
- (3) Limi inorganici di bassa compressibilità.
- (4) Limi inorganici di media compressibilità e limi organici.
- (5) Limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche.
- (6) Argille inorganiche di alta plasticità.
- (*) Adattata al Sistema Unificato.

Figura 6.1 - Carta di plasticità

Tabella 6.3 - Limiti di Atterberg							
Campione	Profondità da p.c. (m)	LL (%)	LP (%)	Wn (%)	IP (%)	Aspetto macroscopico	Classificazione (Carta di plasticità)
SH1	4,40-4,75	25	23	25	2	Limo debolmente sabbioso marrone	Limi inorganici di bassa compressibilità
SH2	1,80-2,15	32	28	28	4	Limo marrone	Limi inorganici di bassa compressibilità
SH3	6,50-6,90	71	32	44	39	Argilla limosa grigio chiaro	Argille inorganiche di alta plasticità

La **prova di consolidazione edometrica** è una prova a compressione verticale con espansione laterale impedita. Consiste nell'applicare una sequenza di carichi ad un provino cilindrico saturo contenuto lateralmente in modo che le deformazioni ed il flusso dell'acqua avvengano in modo verticale. Per ogni carico si permette una consolidazione. Tale prova permette di determinare i parametri di compressibilità, consolidazione e per quantificare la storia tensionale del deposito.

Tabella 6.4 - Parametri calcolati dalla prova edometrica									
Campione	Profondità da p.c. (m)	σ'_p (Kpa)	OCR	CR	Cc	RR	Cr	Sr	Cs
SH1	4,40-4,75	720,05	16,9	0,096	0,17	0,0180	0,031	0,008	0,013
SH3	6,50-6,90	52,02	1,1	0,184	0,41	0,0994	0,2212	0,036	0,081

Dove:

σ'_p	pressione di preconsolidazione
OCR	grado di sovraconsolidazione
CR	rapporto di compressione
Cc	indice di compressione
RR	rapporto di ricomprensione
Cr	indice di ricomprensione
Sr	rapporto di rigonfiamento
Cs	indice di rigonfiamento

Tabella 6.5 - Coefficienti di consolidazione primaria e secondaria							
Campione	Profondità da p.c. (m)	Cv (cm ² /s) 98-196	Cv (cm ² /s) 196-392	Cv (cm ² /s) 392-784	C α 98-196	C α 196-392	C α 392-784
SH2	4,40-4,75	3,24E-03	4,131E-03	9,01E-03	3,99E-04	1,08E-03	1,17E-03
SH3	6,50-6,90	3,84E-04	4,18E-04	4,55E-04	4,74E-03	5,16E-03	5,86E-03

Dove:

Cv	coefficiente di consolidazione
C σ	coefficiente secondario

Progetto: Piano Particolareggiato
di Iniziativa Privata
Comm.: C.I.S.A. Costruzioni S.r.l., Collini
Roberta, Tecnocostruzioni S.n.c.
Intervento: Via Galvana - Ferrara



Tabella 6.6 - Valori di permeabilità				
Campione	Profondità da p.c. (m)	K (cm/s) 98-196	K (cm/s) 196-392	K (cm/s) 392-784
SH1	4,40-4,75	4,19E-08	3,58E-08	5,03E-08
SH3	6,50-6,90	2,16E-08	1,22E-08	6,64E-09

7 Liquefazione terreni

Si definisce *liquefazione* la diminuzione della resistenza al taglio e/o di rigidità, causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo granulare, durante una sollecitazione sismica.

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla, se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di $0,1g$;
3. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di $0,15g$ e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_i)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_i)_{60} > 25$

dove $(N_i)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione:

$$(N_i)_{60} = N_{spt} C_N$$

in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione

$$C_N = (p_a / \sigma'_v)^{0,5}$$

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.1-a, nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 7.1-b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$;
5. profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

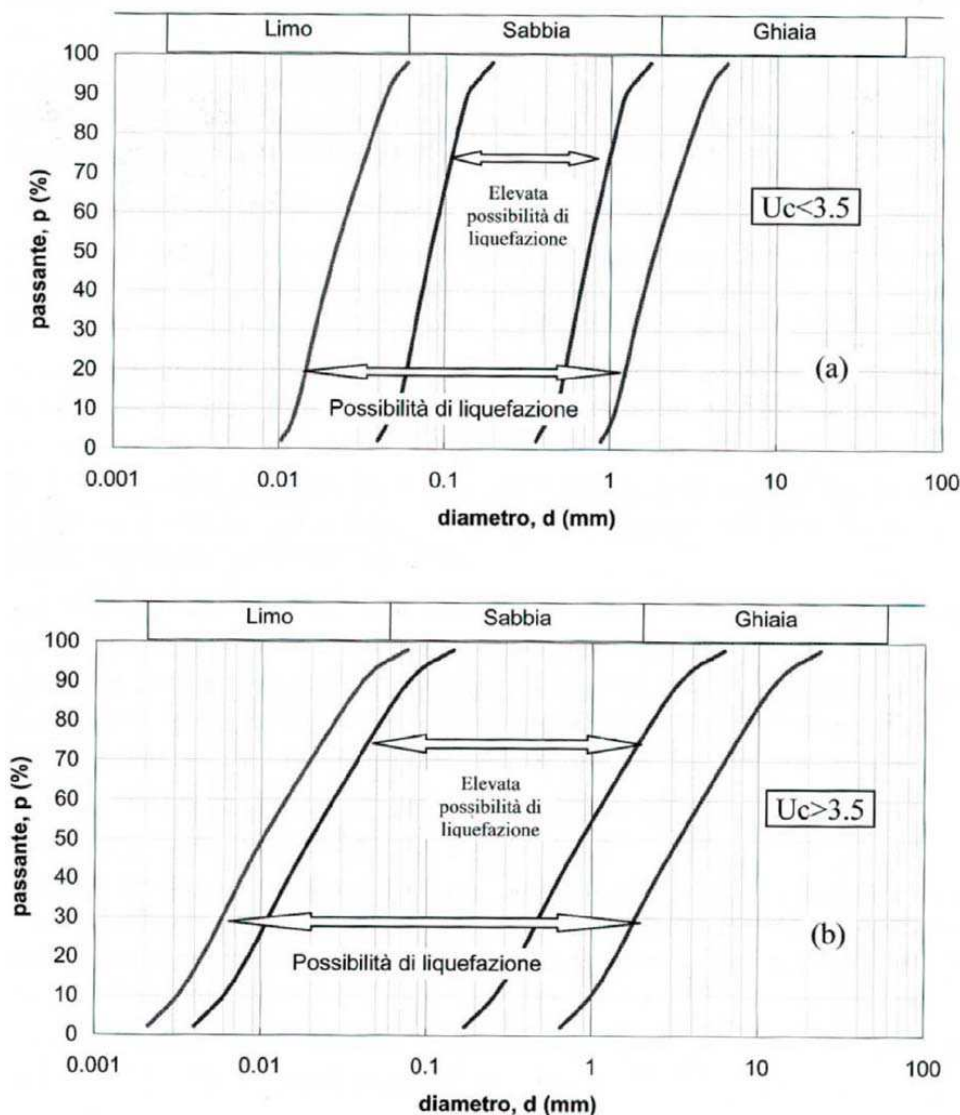


Figura 7.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (Fig. 7.1-a e Fig. 7.1-b)

Dalle indagini effettuate e dai dati desunti dalle precedenti relazioni geologico-tecniche si osserva che non sussiste il pericolo di liquefazione in quanto non si rilevano strati liquefacibili entro i primi 15 m dal piano campagna.

8 Stima dei cedimenti post sismici dei terreni coesivi

Per l'Atto di Indirizzo D.A.L. n. 112/2007, nei depositi coesivi molto soffici ($C_u \leq 70$ kPa) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $r_u = (\Delta u / \sigma'_{v0}) \geq 0.3$ durante il terremoto di riferimento deve essere stimato il cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto. Tale rapporto può essere valutato dal grafico riportato in Figura 8.1 in funzione della deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno.

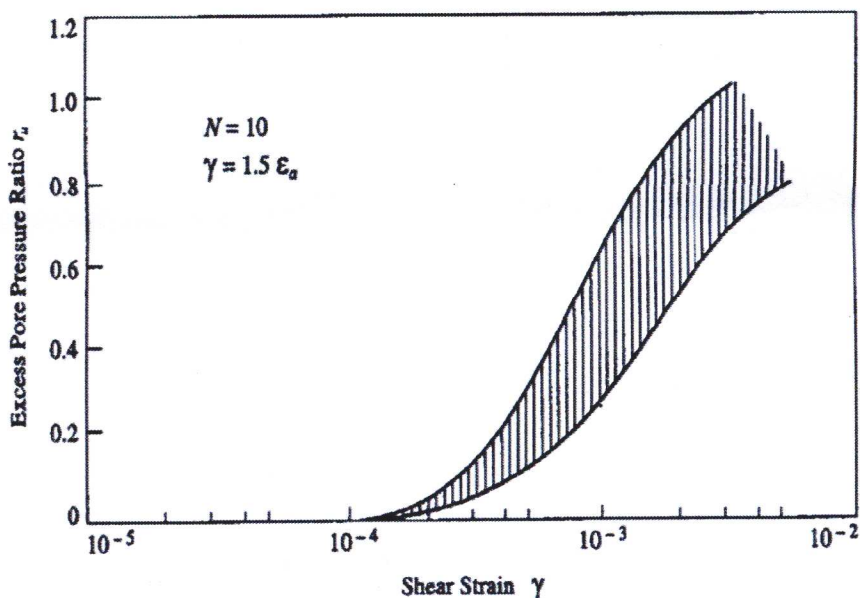


Figura 8.1 – Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto

Tale deformazione è valutabile utilizzando la seguente espressione:

$$\gamma_{\max} = 0,65 (a_{\max}/g) \sigma_v r_d (1/G)$$

Dove:

a_{maxs} accelerazione massima al suolo

g accelerazione di gravità

σ_v tensione verticale totale del suolo

r_d coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse ($r_d = 1 - 0,015Z$)

G modulo di taglio in relazione alla a_{maxs}

Per il calcolo dei cedimenti lo scrivente ha prelevato tre campioni indisturbati di terreno **SH1**, **SH2** e **SH3** sottoposti a Limiti di Atterberg e prova di consolidazione edometrica.

Tabella 8.1 - Limiti di Atterberg						
Campione	Profondità da p.c. (m)	LL (%)	LP (%)	Wn (%)	IP (%)	Classificazione (Carta di plasticità)
SH1	4,40-4,75	25	23	25	2	Limi inorganici di bassa compressibilità
SH2	1,80-2,15	32	28	28	4	Limi inorganici di bassa compressibilità
SH3	6,50-6,90	71	32	44	39	Argille inorganiche di alta plasticità

Il campione SH3 presenta un indice di plasticità pari a 39% pertanto $IP > 30\%$ di conseguenza risulta necessario procedere al calcolo dei cedimenti postsismici nei terreni coesivi.

Nella tabella seguente si riportano i valori utilizzati per il calcolo della deformazione di taglio attesa:

Tabella 8.2 Deformazione di taglio					
Profondità (m)	Z (m)	σ_v (kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	r_d	γ_{max}
6,4-6,9	6,65	1,19	1740	0,90	8,0E-05

Riportando i valori della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto nel grafico (Figura 8.1) il parametro μ risulta inferiore a 0,3. Pertanto in base alle indicazioni riportate al punto E dell'Atto di Indirizzo D.A.L. n. 112/2007 i cedimenti di riconsolidazione eventualmente indotti dal sisma sono di entità trascurabile ai fini ingegneristici.

9 Sismica

Sino al marzo del 2003 il territorio italiano era suddiviso in comuni sismici e comuni non sismici. I comuni sismici venivano suddivisi in 3 categorie a seconda dei valori dell'accelerazione orizzontale prevista nel terreno.

E' il caso di sottolineare che la suddivisione del territorio italiano in tre categorie di zone sismiche è avvenuta sulla base della sismicità registrata dall'anno mille ad oggi, considerando intensità superiori ad un certo valore e la ricorrenza degli eventi. La pericolosità di un'area può essere desunta grossolanamente dall'appartenenza o meno ad una di esse.

La suddetta classificazione sismica - rivolta essenzialmente all'individuazione di zone in cui imporre l'osservanza di norme tecniche antisismiche nella realizzazione di nuove costruzioni - non tiene conto né dei fenomeni fisici all'origine di un terremoto, né dell'influenza che localmente la natura del suolo può avere nell'aggravare gli effetti dei moti sismici. Per queste ragioni può essere considerata come una sorta di "screening" per individuare le aree dove occorre approfondire le indagini.

La recente ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* stabilisce i primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica da parte delle Regioni. Inoltre la stessa Ordinanza fornisce in prima applicazione, l'individuazione delle zone sismiche del territorio nazionale, indicando in apposito allegato la classificazione di ciascun Comune. Pertanto tutto il territorio italiano è stato suddiviso in 4 zone sismiche, identificate con una numerazione decrescente con l'intensità del sisma atteso. L'Ordinanza ha disposto che le Regioni provvedano all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche.

La Regione Emilia-Romagna ha fornito prime indicazioni applicative con la D.G.R. n. 1677 del 24 ottobre 2005, in particolare circa l'operatività, a decorrere dal 23 ottobre 2005 delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 settembre 2005.

Rispetto alla classificazione sismica riportata nell'Allegato B della D.G.R. 1677/2005, e ai sensi dell'Ordinanza 3274/2003, il **territorio comunale di Ferrara** è stato identificato appartenente alla "**zona 3**" (sismicità bassa $S=6$) cui risulta assegnato, ai fini della determinazione delle azioni sismiche un valore (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di riposta elastico pari a 0,15.

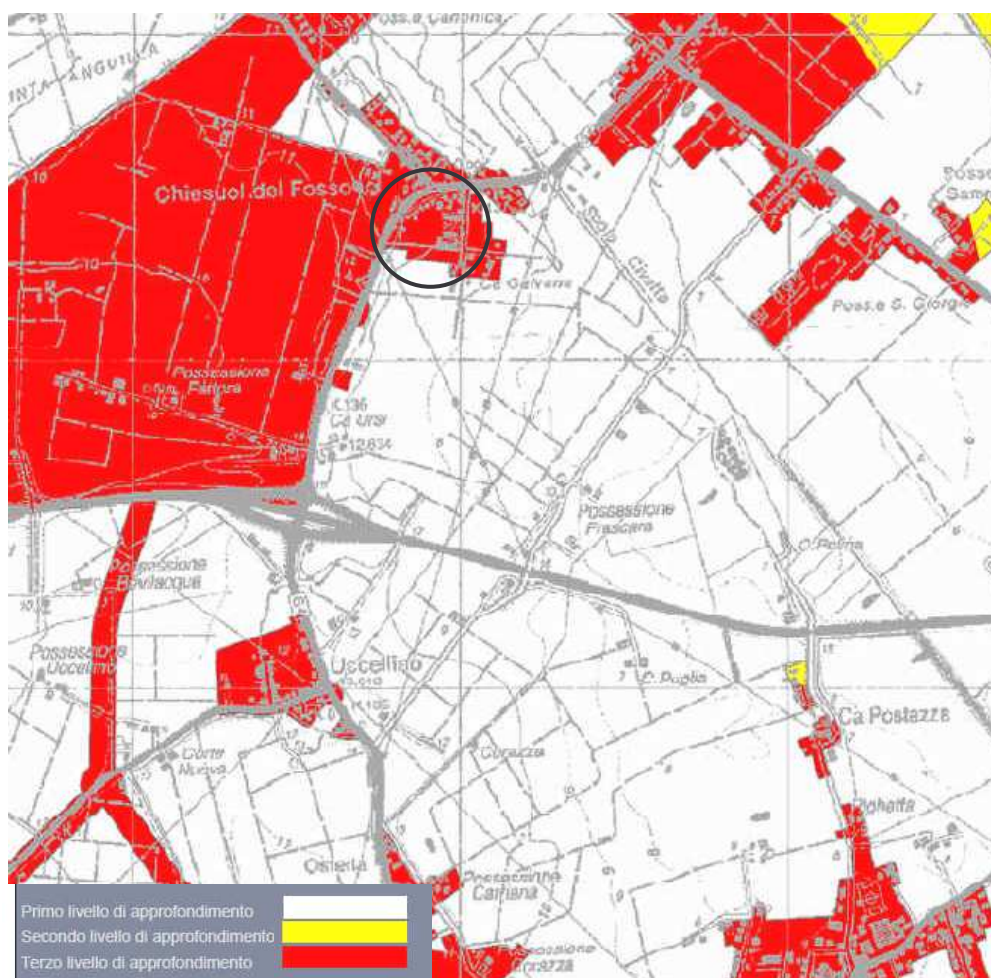


Figura 9.1 – Stralcio Tavola 6.4b “Carta di sintesi prima fase analisi di pericolosità sismica” (PSC Ferrara)

Dalla Tavola 6.4b “Carta di sintesi prima fase analisi di pericolosità sismica” del PSC del comune di Ferrara il sito in esame ricade nella fascia di terzo livello (Figura 9.1).

La caratterizzazione tecnica dei terreni ai fini della protezione sismica, la normativa riporta le seguenti tipologie:

- A - *formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore non superiore a m 5 (valore $V_{s30} > 800$ m/sec);
- B - *depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti* con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri (valore $360 \text{ m/sec} < V_{s30} < 800 \text{ m/sec}$, $N_{spt} > 50$, $C_u > 250 \text{ kPa}$);
- C - *depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza* (valore $180 \text{ m/sec} < V_{s30} < 360 \text{ m/sec}$, $15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250 \text{ kPa}$);
- D - *depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti* (valore $V_{s30} < 180 \text{ m/sec}$, $N_{spt} < 15$, $C_u < 70 \text{ kPa}$);
- E - *profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali* con V_s corrispondenti ai tipi C e D e spessore compreso tra m 5 e m 20, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_s 30 > 800 \text{ m/sec}$;
- S1 - depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100 \text{ m/s}$ ($10 < C_u < 20 \text{ kPa}$)
- S2 - depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

La classificazione deve essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_s nei primi 30 mt di sottosuolo attraverso opportune prospezioni sismiche; nel caso specifico si è ricorsi alla tecnica MASW.

Dalla prospezione sismica effettuate in situ si è classificato il terreno investigato nella categoria **D "Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti"**, così come riportato nell'Ordinanza 3274/03 e nel T.U. 14/09/05.

La classificazione della categoria del suolo permette inoltre di definire una serie di parametri, utili alla determinazione dello spettro di risposta elastico ai fini progettuali, per la componente orizzontale e verticale, come di seguito riportato:

componente orizzontale	componente verticale
$S = 1,35$	$S = 1,0$
$T_B = 0,20$	$T_B = 0,05$
$T_C = 0,80$	$T_C = 0,15$
$T_D = 2,0$	$T_D = 1,0$

9.1 Condizioni topografiche

La normativa prende inoltre in considerazione le condizioni topografiche sito specifiche, affermando la necessità di predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale nel caso di condizioni topografiche complesse, mentre per configurazioni superficiali semplici può essere adottata la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In relazione all'andamento morfologico sub-pianeggiante è possibile classificare il sito di interesse come categoria:

T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

9.2 Indagine sismica in situ

Il sottosuolo di fondazione deve essere classificato in funzione della velocità equivalente delle onde di taglio " V_{s30} " sino alla profondità di 30 m o in alternativa utilizzando alcuni parametri meccanici caratteristici del profilo geologico: resistenza equivalente alla penetrazione dinamica " N_{spt} " o resistenza al taglio non drenata equivalente " C_u ".

All'interno dell'area di progetto è stata eseguita un'indagine sismica diretta tipo MASW per la verifica delle velocità di propagazione delle onde di taglio " V_s " (le caratteristiche tecniche dell'indagine sono state precedentemente descritte). In particolare è stato eseguito uno stendimento sismico di lunghezza 46 m con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz.

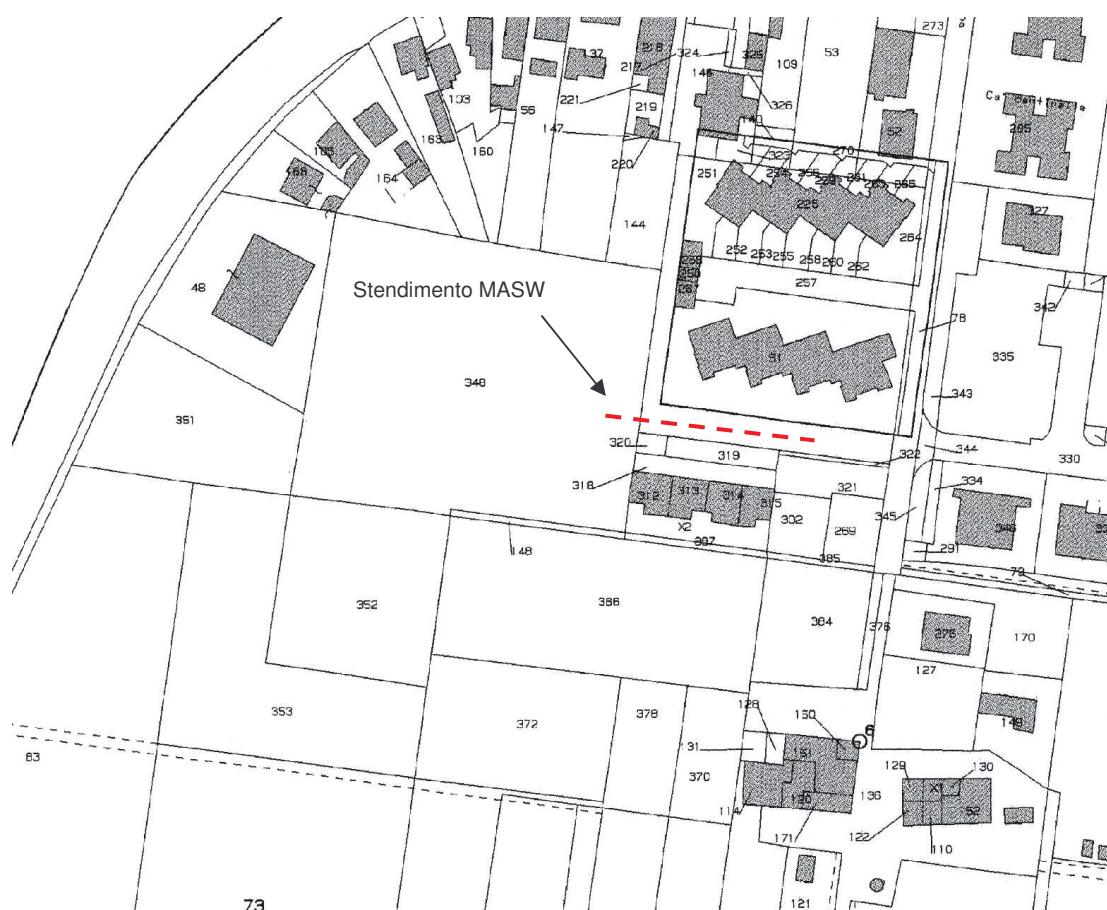


Figura 9.2 – Ubicazione stendimento MASW

Di seguito si riportano gli elaborati grafici che riportano il profilo verticale migliore delle onde S (centrale allo stendimento), il sismogramma acquisito in sito, lo spettro delle velocità di fase, la tabella con gli spessori dei sismostrati, le relative "Vs" ed il relativo modulo di taglio dinamico o rigidità " G_{max} ".



Figura 9.3 – Posizione stendimento MASW

9.3 Classificazione sismica del sottosuolo

I dati acquisiti ed elaborati hanno consentito di determinare la presenza di diversi sismostrati con velocità delle onde "Vs" variabili da 128 m/s a 263 m/s sino alla profondità di 30 m.

Gli elaborati sismici presenti in allegato riportano il profilo verticale delle velocità delle onde "Vs", una tabella riassuntiva degli strati rilevati con il loro valore di velocità "Vs" e di modulo di taglio dinamico " G_{max} ", il sismogramma di riferimento utilizzato nelle elaborazioni e lo spettro di velocità delle onde sismiche di Rayleigh. Entrambi i profili evidenziano delle inversioni di velocità dovute al passaggio da terre più dense, che trasmettono più velocemente le onde di taglio "Vs", a terre meno dense, che trasmettono più lentamente le onde di taglio.

L'equazione definita dalla normativa per il calcolo della "Vs30" è la seguente:

$$Vs30 = 30 / (I_{hi} / V_i)$$

I_{hi} = spessore dello strato iesimo

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato iesimo

La classificazione del sottosuolo descritta nelle NTC è la seguente:

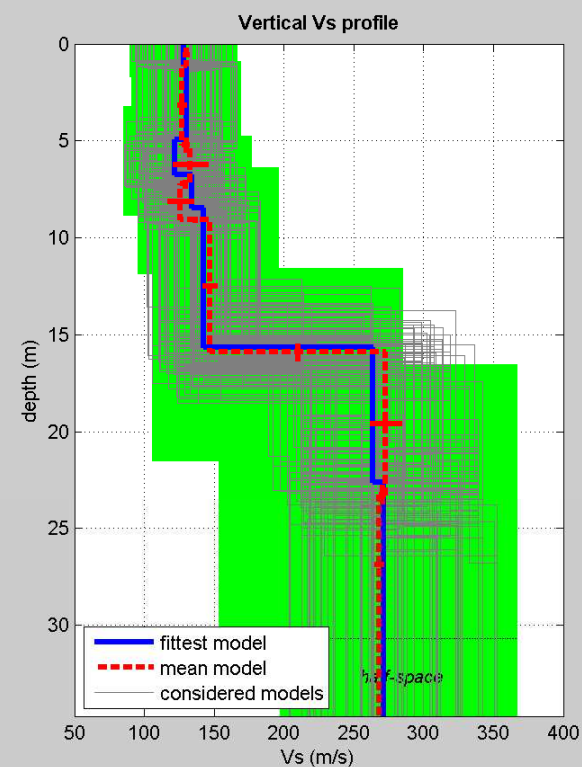
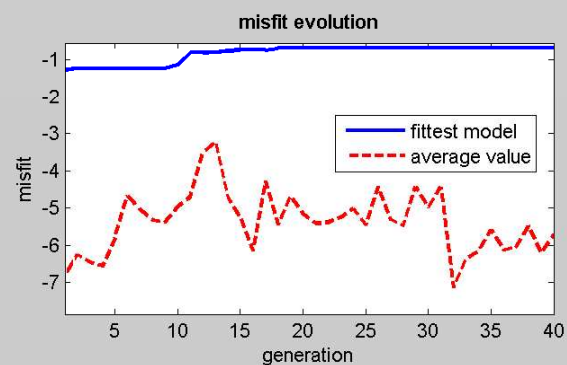
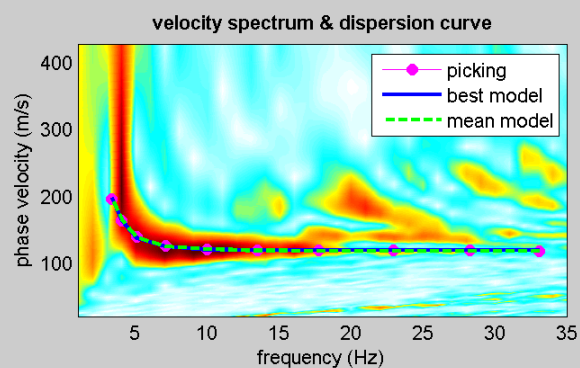
Categoria	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con valori $V_{s30} > 800$ m/s con strati di alterazione superficiale $h_{max} = 3$ m
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o terre a grana fina molto consistenti, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata media $C_u > 250$ KPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o terreni a grana fine di media consistenza, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa)
D	Depositi di terreni granulari scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $C_u < 70$ RPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessori < 20 m posti sul substrato di riferimento ($V_{s30} < 800$ m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < C_u < 20$ KPa) che includono uno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Deposito di terreni suscettibili alla liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

$$Vs30 = 177 \text{ m/s}$$

Categoria di sottosuolo = D

La superficie topografica dell'area è pianeggiante.

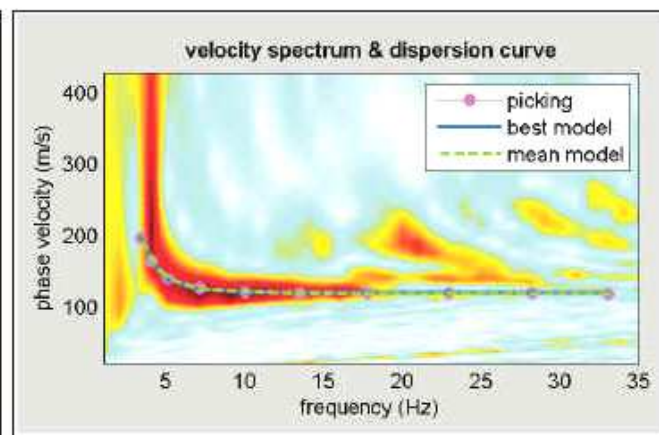
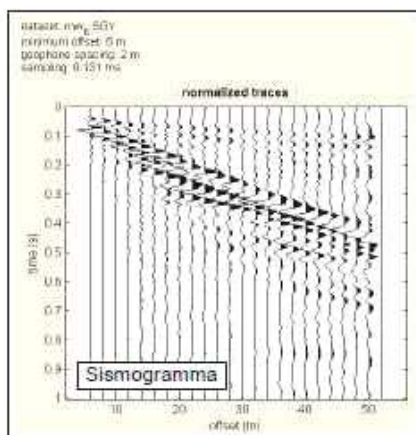
Categoria topografica - T1



dataset: mw_g-SGY
dispersion curve: pick.cdp
VS30 (best model): 177 m/s
VS30 (mean model): 177 m/s

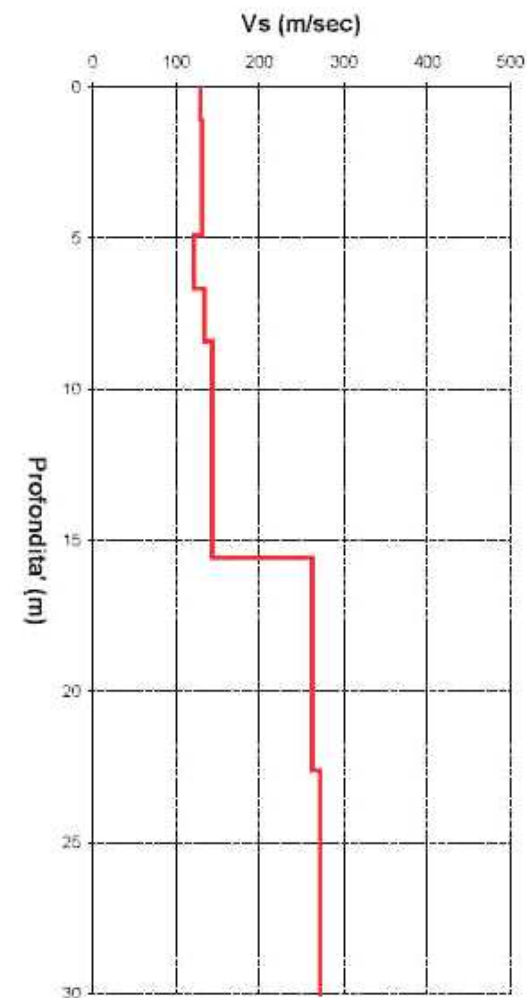
Progetto: Piano Particolareggiato
di Iniziativa Privata
Comm.: C.I.S.A. Costruzioni S.r.l., Collini
Roberta, Tecnocostruzioni S.n.c.
Intervento: Via Galvana - Ferrara

Data: 21/02/2011



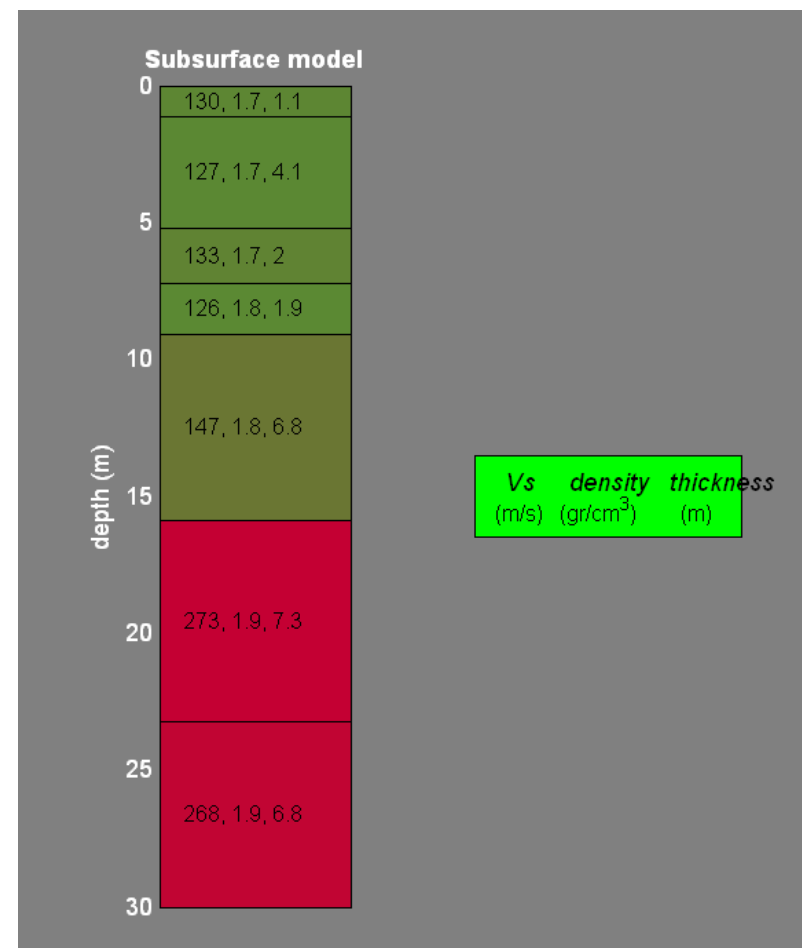
Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	Vs (m/s)	densità kg/mc	G (MPa) Rigidità
1	1,1	1,1	128	1730	28
2	3,8	4,9	130	1740	29
3	1,8	6,7	122	1730	26
4	1,7	8,4	134	1750	31
5	7,2	15,6	143	1760	36
6	7,0	22,6	263	1910	132
7	10,0	32,6	271	1890	139

Profilo verticale onde S



Progetto: Piano Particolareggiato
di Iniziativa Privata
Comm.: C.I.S.A. Costruzioni S.r.l., Collini
Roberta, Tecnocostruzioni S.n.c.
Intervento: Via Galvana - Ferrara

Strato	Spessore (m)	Profondità (m)	Vs (m/s)	Densità (kg/cm ³)	G (Mpa)
1	1,1	1,1	128	1730	28
2	3,8	4,9	130	1740	29
3	1,8	6,7	122	1730	26
4	1,7	8,4	134	1750	31
5	7,2	15,6	143	1760	36
6	7,0	22,6	263	1910	132
7	10,0	32,6	271	1890	139



Per avere maggiori informazioni sulla pericolosità sismica del sito in esame, si utilizza lo strumento pubblicato dal progetto "S1 - INGV". A tal fine, si riporta uno stralcio della mappa di pericolosità sismica, per individuare il parametro $a(g)$ dell'area di studio (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale è chiamata PGA). Da ciò si evince, come questa specifica zona del territorio di Ferrara, rientri nell'intervallo 0,125 - 0,150 (sono riferito ad una probabilità del superamento del 10% in 50 anni) (Fig. 9.4).

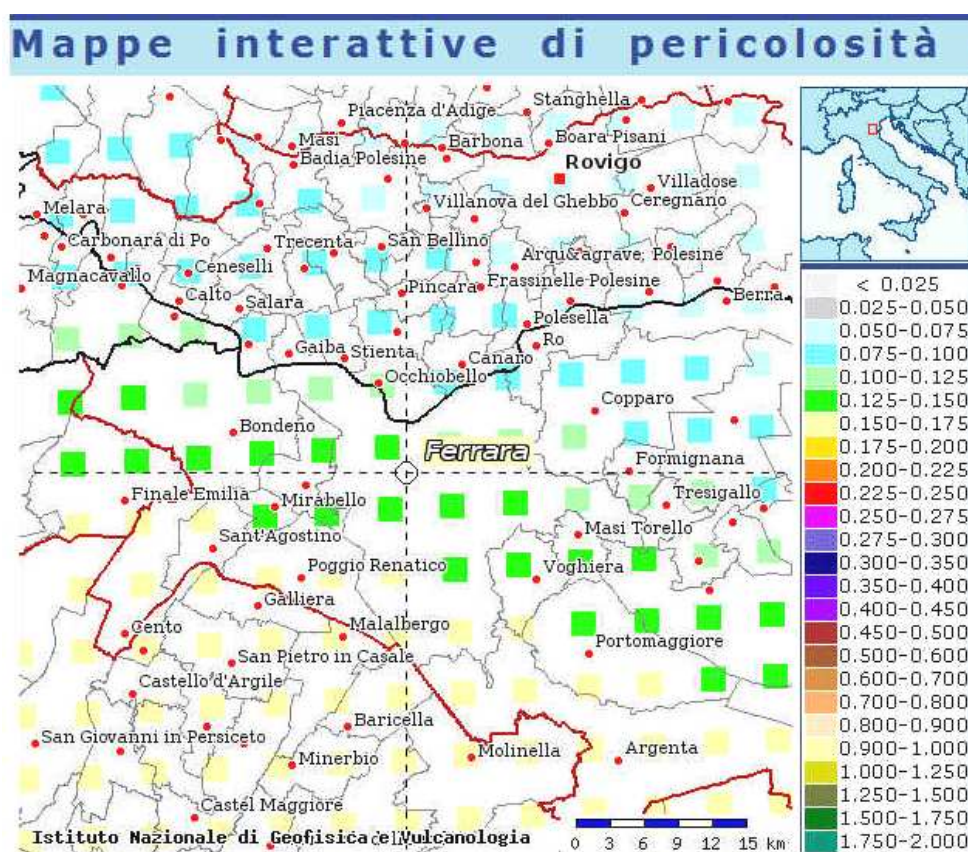


Figura 9.4 – Mappa interattiva pericolosità sismica (Fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

La nuova classificazione sismica introdotta con l'Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico per la microzonizzazione sismica della regione Emilia Romagna, prevede per il comune di Ferrara la seguente accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) (Tab. 2, All.A 4 D.A.L. 112/07):

$$a_{refg} = 0,132$$

Per un valore della Vs30 inferiore 300 m/sec, il fattore di amplificazione è pari a F.A.=1,5. (ambito PIANURA2, All. A2 D.A.L. 112/07), da cui si evince che la PGA (T_0) è pari a:

$$PGA (T_0) = 0,198 \text{ g}$$

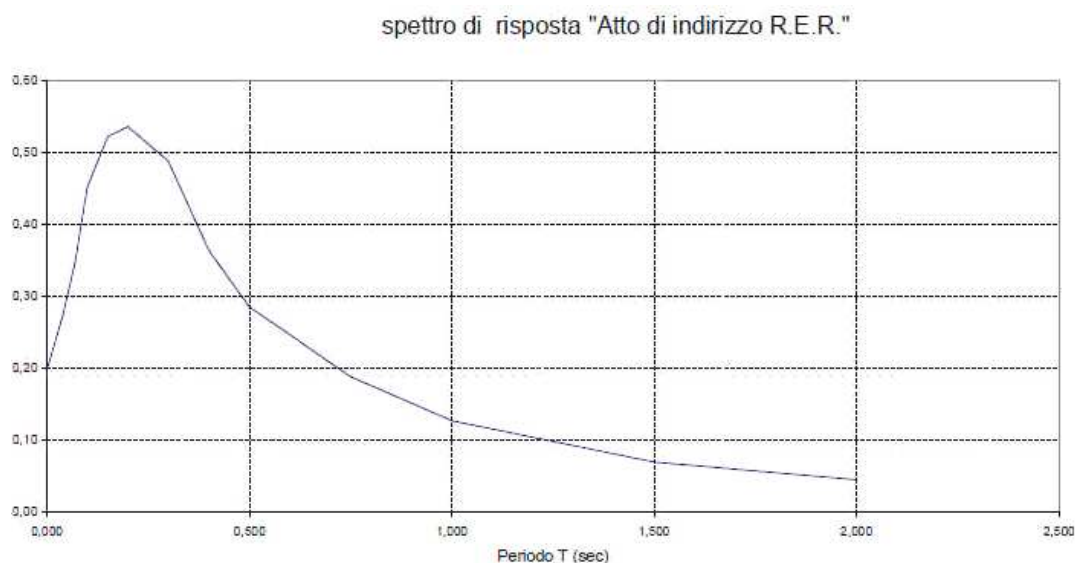


Figura 9.5 – Spettro di risposta per il suolo rilevato nel comune di Ferrara

Per la scelta della strategia di progettazione, si procede in funzione delle caratteristiche dell'opera e si definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di ag, Fo e T*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella seguente tabella si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limite a cui si può spingere la progettazione.

Tabella 9.1 - D.M. 14-01-2008 Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato		
Stati limite		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R (P_{VR})
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLU	10%
	SLV	5%

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito dipendente". Come indicato nell'Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☐ Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11,6217 LATITUDINE: 44,8277

☒ Ricerca per comune REGIONE: Emilia-Romagna PROVINCIA: Ferrara COMUNE: Ferrara

Elaborazioni grafiche:
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo del reticolo:
☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 9 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione:
superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Figura 9.6 – Vertici della griglia di riferimento

Si valutano i parametri spettrali a_g , F_0 e T^*c per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica (**T1**) (Cap. 3.2 del D.M.2008) la categoria del sottosuolo (**C**) e la classe d'uso della costruzione (**II**) (Cap. 2.4 del D.M.2008) (Figura 9.7).

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_u info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$ info
SLD - $P_{VR} = 63\%$ info

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$ info
SLC - $P_{VR} = 5\%$ info

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo: **D** info $S_o = 1,800$ $C_o = 2,394$ info

Categoria topografica: **T1** info $h_M = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(In quota sito, Realizza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) $\eta = 1,000$ info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_L Regol. in altezza: **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore q $\eta = 0,667$ info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Figura 9.7 – Parametri di input

Sostituendo questi parametri nelle equazioni degli spettri di risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali si ottengono le curve riportate di seguito:

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limSLV

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a_g	0,137 g
F_a	2,534
T_c	0,273 s
S_a	1,800
C_a	2,394
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti	
S	1,800
η	1,000
T_B	0,218 s
T_c	0,653 s
T_B	2,147 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_1 \cdot S_2 \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10(5 + k_1)} \geq 0,5; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_a \cdot T \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_B = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_s$$

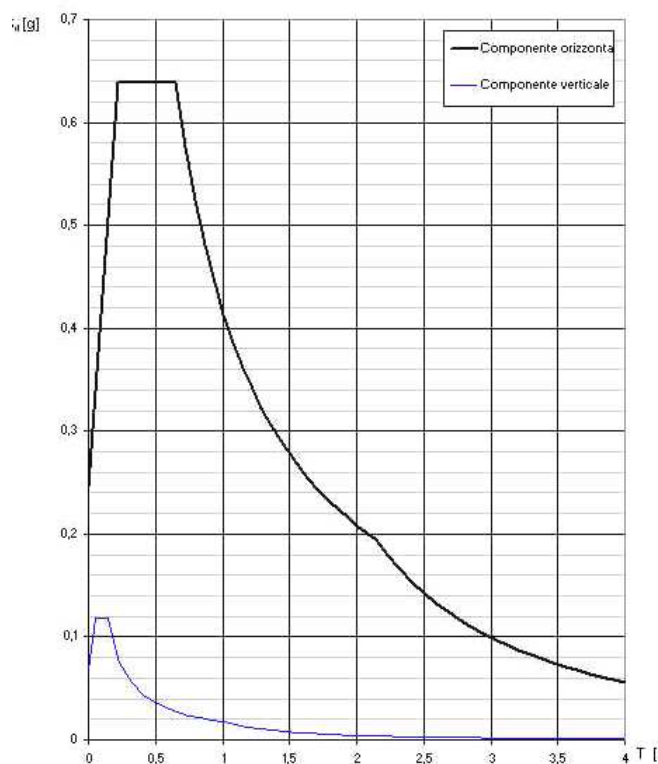
$$T_c \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \left(\frac{T}{T_c} \right)$$

$$T_B \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_s \left(\frac{T \cdot T_B}{T_c} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta	
T [s]	Se [g]
0,000	0,246
0,218	0,639
0,653	0,639
0,724	0,576
0,795	0,524
0,866	0,481
0,937	0,445
1,008	0,413
1,080	0,386
1,151	0,362
1,222	0,341
1,293	0,322
1,364	0,306
1,435	0,290
1,507	0,277
1,578	0,264
1,649	0,253
1,720	0,242
1,791	0,233
1,862	0,224
1,934	0,216
2,005	0,208
2,076	0,201
2,147	0,194
2,236	0,179
2,324	0,166
2,412	0,154
2,500	0,143
2,588	0,134
2,677	0,125
2,765	0,117
2,853	0,110
2,941	0,103
3,029	0,098
3,118	0,092
3,206	0,087
3,294	0,082
3,382	0,078
3,471	0,074
3,559	0,071
3,647	0,067
3,735	0,064
3,824	0,061
3,912	0,058
4,000	0,056

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limi SLV



Nelle valutazioni inerenti i Piani (PTCP, PSC, PP) si ricorrere ai valori di accelerazione ed amplificazione derivanti dall'utilizzo dell'Atto di Indirizzo Regionale Delibera dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007. Per la progettazione delle strutture (progetti esecutivi) si ricorre alle stime di accelerazione ed amplificazione sismica sito-specifiche derivate dall'applicazione del D.M. 14/01/2008.

10 Valutazione di compatibilità con il rischio industriale

Secondo quanto indicato dall'UOPC Geologico e la Protezione Civile nel "Piano di Emergenza" (Approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 51/36018 del 25/05/10), nella Provincia di Ferrara sono presenti 8 stabilimenti soggetti ad art. 8 del D. Lgs. 334/99 e s.m.i., quindi classificati come industrie a rischio rilevante.

Per Industrie a Rischio Incidente Rilevante si intendono quegli stabilimenti che detengono "sostanze pericolose" che per loro natura e per i quantitativi stoccati, potrebbero comportare il verificarsi di un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati durante l'attività dello stabilimento stesso, e quindi dare luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento.

Degli 8 stabilimenti presenti nella provincia di Ferrara, 5 sono ubicati nel comune di Ferrara:

ANVIR S.r.l.

BASELL S.p.A. (ex Montell)

YARA ITALIA S.p.A. (ex HYDRO AGRI ITALIA)

POLIMERI EUROPA S.P.A.

ViNYLOOP FERRARA S.p.A.

Rispetto al rischio industriale, il sito oggetto di Piano risulta esterno alle aree a "Rischio di incidente rilevante" così come individuate nella Tavola 6.1.4 del PSC del Comune di Ferrara.

11 Valutazione di compatibilità con il rischio idraulico

Nel territorio provinciale ferrarese ricadono le parti terminali di tre fiumi importanti: il Po, il Reno, il Panaro: essi ne delimitano quasi esattamente i confini settentrionale, meridionale, occidentale, sono totalmente pensili ed arginati in forma rigida e ridotta presenza di golene esondabili.

Il sistema fluviale è anche estremamente fragile poiché gli interventi antropici non solo hanno arginato il corso dei tre fiumi, ma nel ferrarese hanno compiuto azioni di forzatura rispetto alla loro stessa direzione (deviazione a mare del Reno, deviazione del tratto terminale del Po con il taglio di Porto Viro).

Il territorio ferrarese è inoltre caratterizzato morfologicamente litologicamente dalla presenza di innumerevoli paleoalvei, riconducibili in genere agli antichi corsi dei fiumi e dei rispettivi reticoli idrografici.

Oltre a ciò, nella pianura ferrarese, il reticolo idrografico è regolato da una fitta rete idrografica consortile.

Rispetto al rischio idraulico, dalla Tavola 6.1.3 "Vincoli idraulici e infrastrutturali" del PSC del Comune di Ferrara, il sito in esame risulta esterno alle fasce di Piano di Bacino del fiume Po, alle aree a rischio di allagamento, alle aree a ridotta soggiacenza della falda freatica e ricade all'interno di un paleoalveo avente andamento NW-SE (soggetto alle disposizioni dell'art. 26.1.5 delle N.T.A. del PSC).

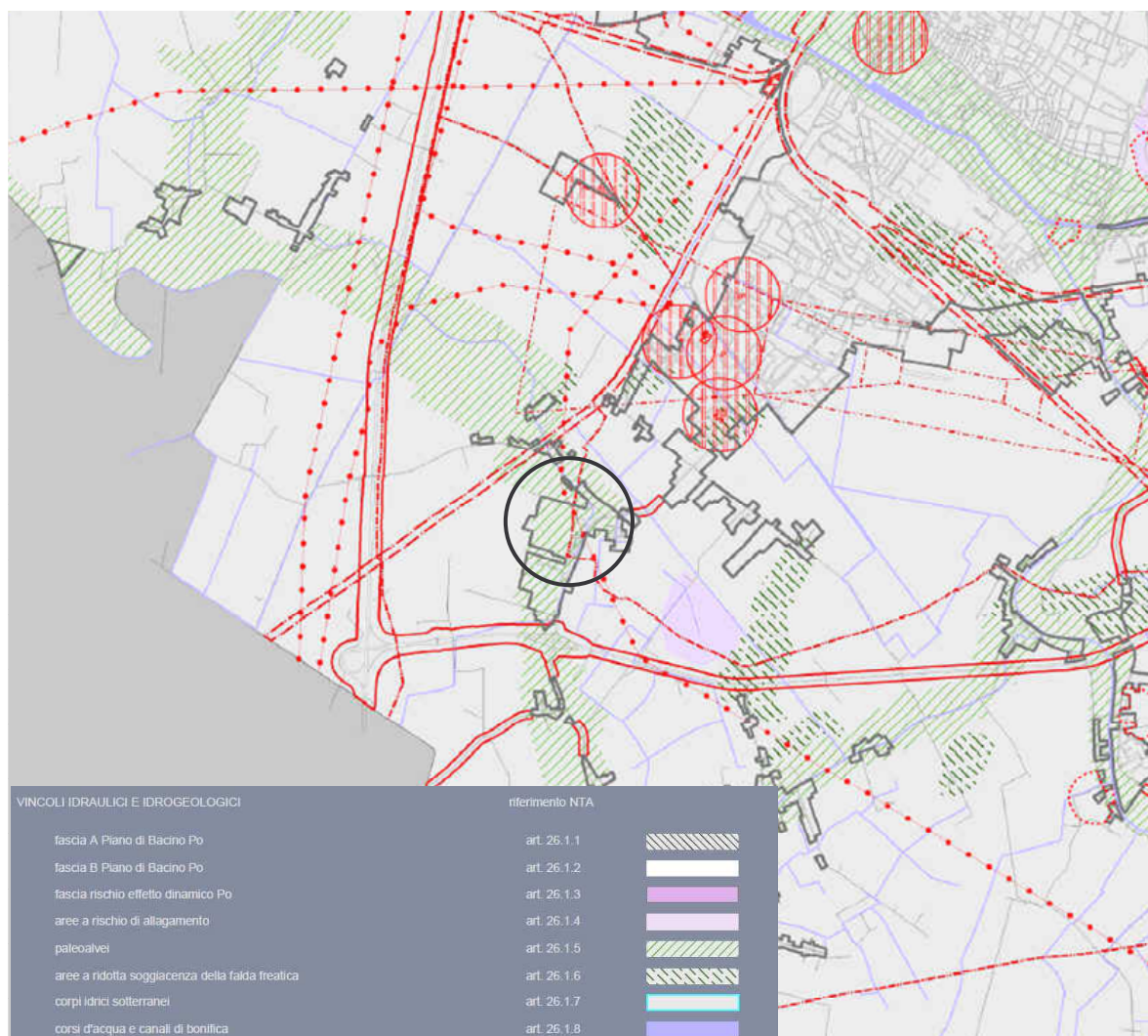


Figura 11.1 – Stralcio Tavola 6.1.3 “Carta Vincoli Idraulici e infrastrutturali” (PSC Ferrara)

12 Valutazione di compatibilità con il rischio da incendio boschivo

Il Piano Provinciale di Emergenza – Rischio incendi Boschivi ai sensi del D. Lgs. n.112/98 individua le più importanti aree boscate della provincia di Ferrara. E' possibile notare come la maggior parte delle aree boscate ricade nella fascia costiera e precisamente nei Comuni di Mesola e Comacchio.

Gran Bosco della Mesola – Comune di Mesola
Bosco Spada – Celletta - Comune di Codigoro
Riserva Lido di Volano - Comune di Comacchio (Lido di Volano)
Pineta Jacaranda - Comune di Comacchio (Lido degli Scacchi)
Riserva Lido di Spina – Comune di Comacchio (Lido di Spina)
Ribaldesa – Motte del Fondo - Comune di Mesola
Santa Giustina e Fasanara - Comune di Mesola
Rimboschimento in Comune di Ro - Comune di Ro
Rimboschimento Porta del Delta Comune Berra (Serravalle)
Bosco della Panfilia - Comune di Sant'Agostino
Bosco del Traversante Comune di Argenta

L'area oggetto di Piano quindi non rientra tra le zone soggette a rischio di incendi boschivi.

Ferrara, 28 marzo 2011

Dott. Geol. Fantin Graziella

Dott. Geol. Graziella Fantin

A blue circular official stamp is visible behind the signature. The text within the stamp includes "REGIONE EMILIA ROMAGNA", "DOTT. GEOL. GRAZIELLA FANTIN", "SELLA", "N. 952 ALBO P.E.", and "FERRARA".