

COMUNE DI SAVIGNANO sul Rubicone

Provincia di Forlì-Cesena

STUDIO GEOLOGICO

per il progetto di ampliamento del Centro Commerciale
“Romagna Center”

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente:

Gruppo Klepierre

Ubicazione:

Romagna Center

Località Capanni – Savignano Mare

Il Progettista:

Dr. Geol. GIANLUCA VENTURINI

Via Monte dei Gigli, 20 - 47826 VERUCCHIO (RN)
C.F. VNTGLC62P27H294O - P.IVA 01965670407

Data:

Febbraio 2025

Dr. Geol. Gianluca Venturini

Via Monte dei Gigli, 20 - 47826 VERUCCHIO (RN)

C.F. VNTGLC62P27H294O - P.IVA 01965670407

Tel. e fax 0541.670005 Cell. 335.6467719

e-mail : geolventurini@alice.it vgstudiogeol@libero.it

PEC : gventurini@pec.epap.it

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	2
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	2
4. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI – MODELLO GEOLOGICO.....	4
4.1 <i>Inquadramento geologico-strutturale – Elementi generali</i>	4
4.2 <i>Inquadramento geologico e stratigrafico</i>	6
4.3 <i>Lineamenti stratigrafici - Geologia di dettaglio</i>	8
4.4 <i>Inquadramento geomorfologico (lineamenti geomorfologici)</i>	9
4.5 <i>Caratteri idrologici e idrogeologici</i>	10
4.6 <i>Modello geologico</i>	11
5. CARATTERI SISMICI	12
6. INDAGINE GEOGNOSTICA.....	13
6.1 <i>Metodologia d'indagine</i>	13
6.2 <i>Prova penetrometrica statica CPT</i>	15
6.3 <i>Sondaggio a carotaggio continuo</i>	16
6.4 <i>Piezometro a tubo aperto</i>	18
6.5 <i>Prove in foro: prova S.P.T.</i>	19
7. MODELLO GEOTECNICO – STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	19
7.1 <i>Risultati delle indagini</i>	19
7.2 <i>Condizioni stratigrafiche locali (stratigrafia)</i>	20
7.3 <i>Prove S.P.T. in foro</i>	20
7.4 <i>Parametri geotecnici</i>	21
7.5 <i>Parametri geotecnici caratteristici</i>	22
8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	23
8.1 <i>Categoria di sottosuolo</i>	23
8.2 <i>Condizioni topografiche</i>	24
9. ANALISI DEI PARAMETRI SISMICI E PERICOLOSITA' SISMICA	24
10. LIQUEFAZIONE	26
11. CONCLUSIONI	26

1. PREMESSA

Su incarico del Gruppo Klepierre è stato condotto uno **studio geologico per la definizione delle caratteristiche geologiche del terreno** su cui è previsto l'ampliamento del Centro Commerciale Romagna Center con la costruzione di un nuovo manufatto in località Capanni, in Comune di Savignano al Rubicone (FC).

Lo studio si è avvalso di:

- un' **indagine geognostica eseguita nel febbraio 2025** diretta dallo scrivente;
- un' **indagine geognostica eseguita nel 2012** nell'ambito della redazione dello studio geologico a firma del Dr. Geol. O. Moretti redatta per il precedente ampliamento del Centro Commerciale;
- sopralluoghi diretti sul sito e conoscenza della zona maturata dallo scrivente;
- analisi dei dati della banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna.

Allo scopo di identificare e caratterizzare adeguatamente il **modello geologico locale** ho provveduto a soddisfare le seguenti principali determinazioni:

- inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico (*MODELLO GEOLOGICO*);
- caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni (*MODELLO GEOTECNICO*);
- presenza di circolazione/concentrazione idrica sotterranea;
- caratterizzazione sismica del sito.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'indagine geognostica ed il presente studio sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI - *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche"* (1977);
- DM 11.03.1988 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni etc."* e relative istruzioni di cui alla C.M. LL.PP. del 24.09.1988 n. 30483;
- OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 e ss.mm.ii. *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica etc."*;
- DM 17.01.2018 *"Norme Tecniche per le Costruzioni 2018"*;
- Circolare LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 *"Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"*.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

L'area oggetto di indagine ricade all'interno del territorio comunale di Savignano al Rubicone, in zona di piana alluvionale.

Le coordinate geografiche ottenute tramite strumento GPS rendono: LATITUDINE 44° 09' 26.46" N, LONGITUDINE 12° 25' 42.95" E. In *Fig.1*, stralcio ortofoto RER AGEA 2023, in *Fig. 2*, planimetria scala 1:20.000 ed in *Fig. 3*, planimetria scala 1:5.000 è rappresentata l'ubicazione dell'area in esame.

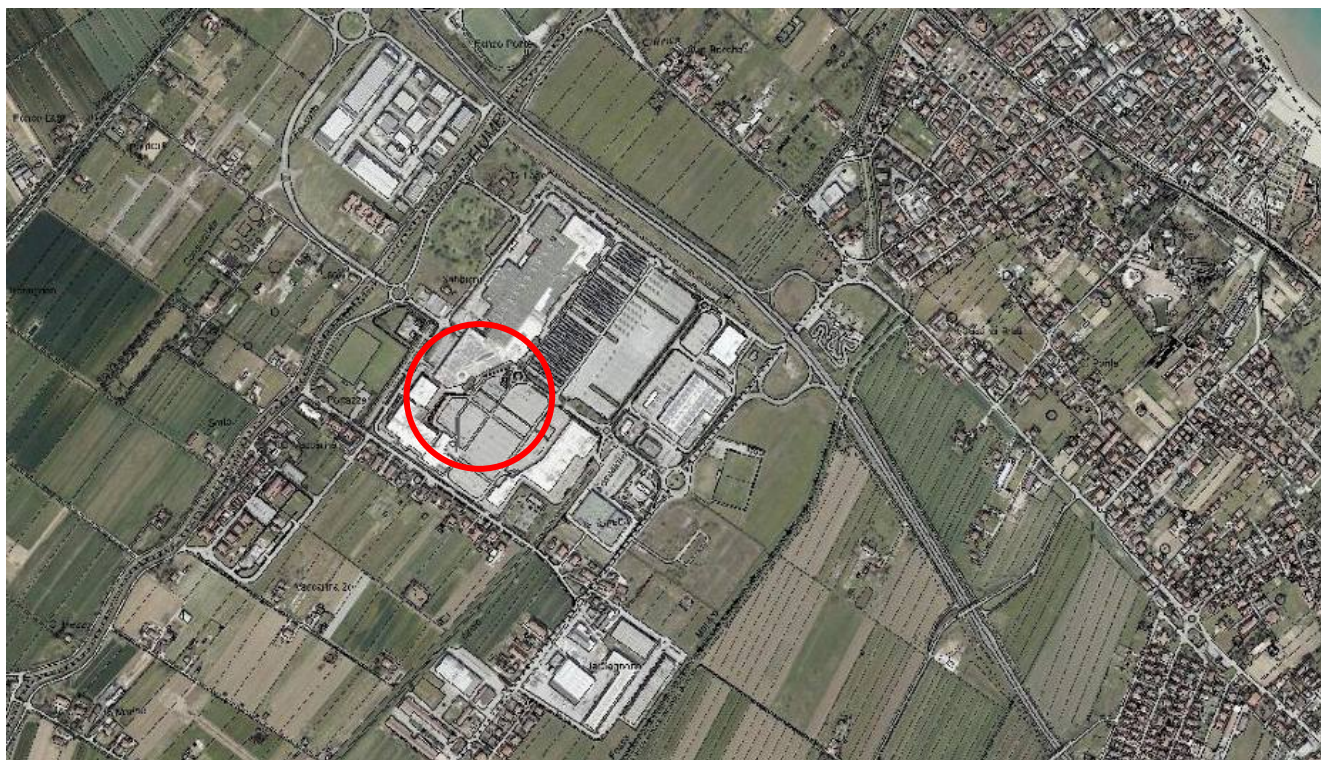


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in esame (Stralcio ortofoto RER AGEA)

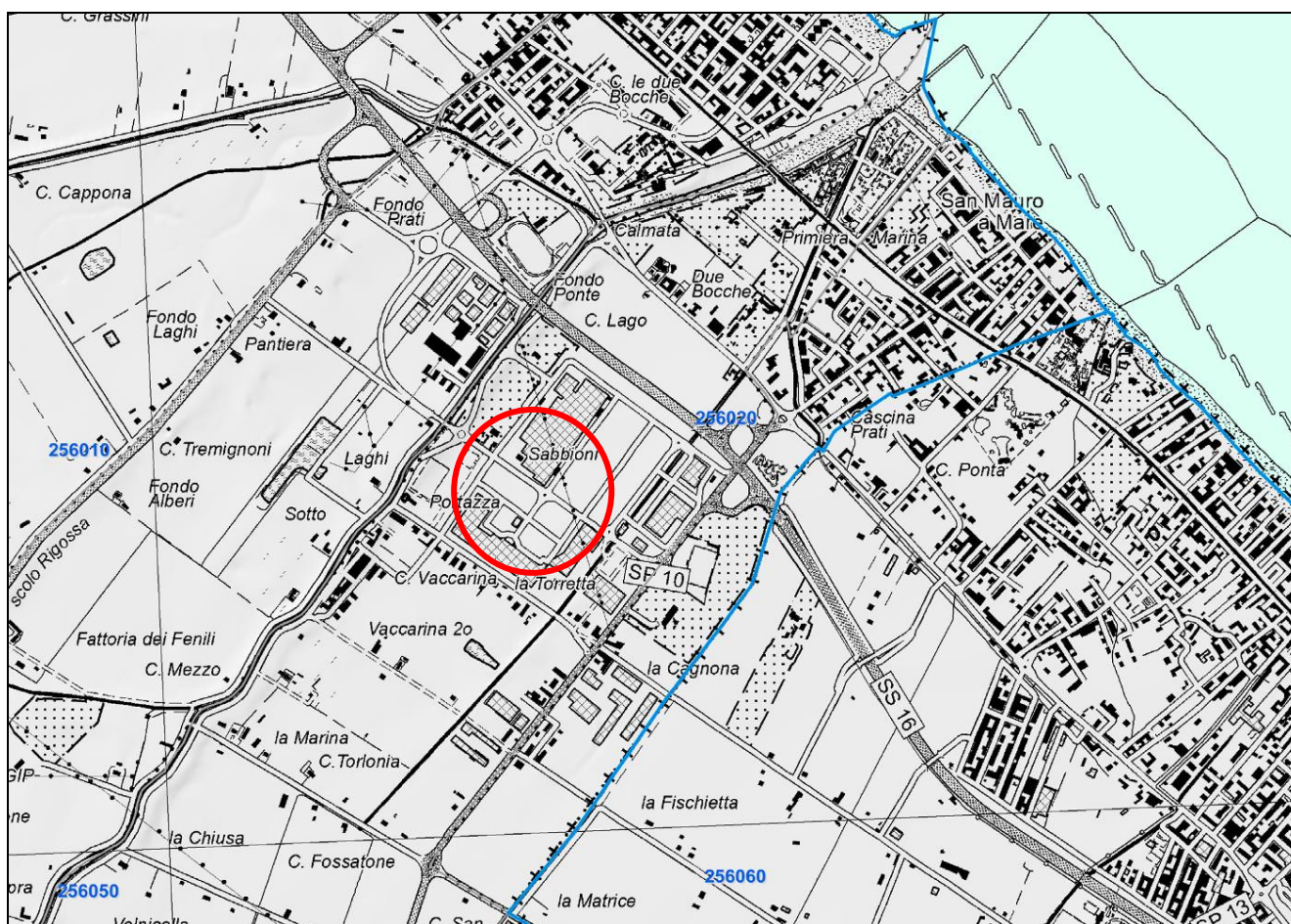


Fig. 2 – Ubicazione dell'area in esame (Stralcio CTR 1.20.000)

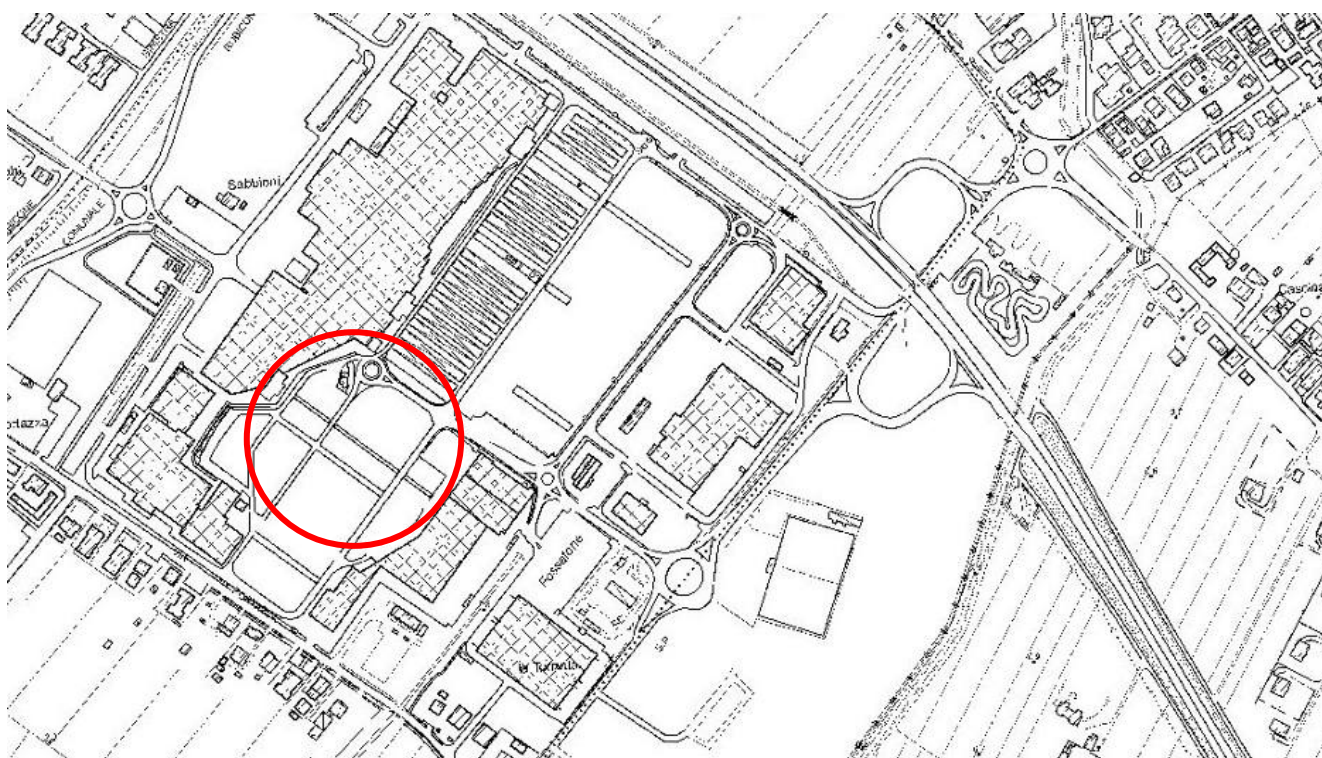


Figura 3 – Stralcio CTR (1:5000)

4. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI – MODELLO GEOLOGICO

4.1 Inquadramento geologico-strutturale – Elementi generali

Il territorio in esame si colloca nella estrema porzione orientale della Pianura Padana che tende a chiudersi, stretta fra le ultime dorsali appenniniche e il mare e che costituisce, dal punto di vista geologico, un grande bacino plio-quaternario di tipo sedimentario interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, con movimenti verticali controllati dai lineamenti strutturali presenti in profondità.

Il contesto geologico di riferimento è pertanto quello del Bacino Padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa, denominata "avanfossa appenninico- adriatica" (Ori et al., 1986) che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico (Dondi e D'Andrea, 1986; Pieri e Groppi, 1981).

Gli eventi orogenetici che hanno portato alla successione stratigrafica attuale sono riconducibili alle spinte tettoniche di origine appenninica, avvenute secondo direzione SO- NE, le quali hanno determinato l'innalzamento dei depositi pliocenici. La linea di costa era collocata abbastanza vicino al limite di spartiacque che corrispondeva alla linea di cerniera tra aree in sollevamento e aree subsidenti. Tale linea era interrotta da faglie trasversali ad andamento antiappenninico su cui si sono impostati gli assi di erosione fluviale di cui si segnalano quelli del Rubicone e dell'Uso e poco più ad est quello del fiume Marecchia.

Pertanto si può dire che il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera sono il prodotto del sistema ad embrici e accavallamenti che ha regolato e regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica. L'attività tettonica nell'area è iniziata presumibilmente prima del Pliocene (5 milioni di anni fa) ed è proseguita per quasi tutto il Pliocene superiore, accavallando unità geologiche più antiche (mioceniche ed anche mesozoiche) su termini più giovani (Pliocene inferiore e medio) (Frassinetti e Viel, 1997); proprio in corrispondenza della fascia costiera è presente una prima dislocazione importante del sistema di archi adriatici (figura 4).

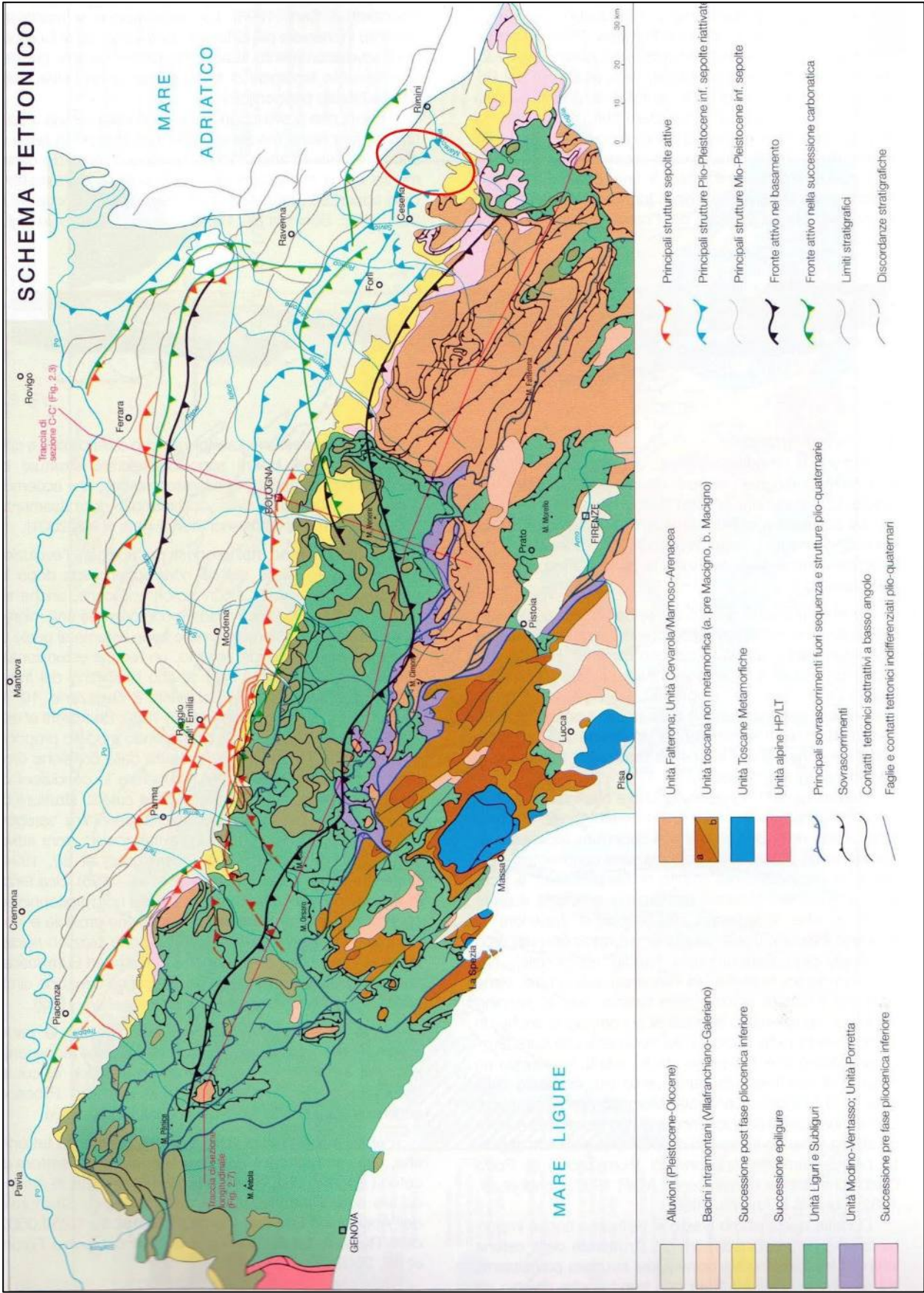


Figura 4 - Schema tettonico dell'Emilia-Romagna, in cui è evidenziata col tratto rosso l'area di studio

Il bacino padano è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica che sigillano le strutture deformative plicative sottostanti; nel Pleistocene medio la prosecuzione del sollevamento del margine appenninico comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e l'inizio della sequenza deposizionale denominata Supersintema Emiliano-Romagnolo; le tre sequenze deposizionali proposte dalla Regione Emilia-Romagna per caratterizzare i depositi sedimentari a partire dal Pliocene medio-superiore corrispondono a cicli trasgressivo- regressivi.

4.2 Inquadramento geologico e stratigrafico

I dati geologici di seguito riportati sono derivati dall'analisi della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna 1: 50.000 realizzata per il progetto CARG (figura 5) e consultabile attraverso il sito web del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli a cui si rimanda per eventuali approfondimenti. Le descrizioni delle unità geologiche e dei rapporti stratigrafici sono per lo più tratte dalle "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia", Foglio 256 (ISPRA, Regione Emilia-Romagna, Università di Bologna, 2009).

Dal punto di vista geologico la Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino settentrionale e le Alpi meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono successioni stratigrafiche complesse sia dal punto di vista stratigrafico stesso che strutturale; nello specifico l'area di studio ricade nel dominio strutturale denominato "Pieghe Adriatiche".

In particolare, il territorio in esame risulta essere caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali attribuibili alle unità oloceniche più superficiali della potente successione quaternaria di riempimento del bacino padano legato all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale, depositi geneticamente correlati all'evoluzione geomorfologica dominata dai processi di divagazione dei corsi d'acqua e dalle oscillazioni climatico-eustatiche sovrainposte agli eventi tettonici di sollevamento regionale.

La successione plio-quaternaria presenta un carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

I depositi alluvionali possono essere raggruppati all'interno del Sintema Emiliano- Romagnolo (Pleistocene e Olocene medio) che è stato suddiviso a sua volta in 5 subsintemi sulla base delle caratteristiche morfo-pedostratigrafiche. Le due unità presenti nell'area in esame (AES8 e AES8a), sono essenzialmente composte da argille, limi e sabbie di piana alluvionale. Tali depositi quaternari continentali, geneticamente correlati agli apporti alluvionali, appaiono distribuiti in architetture nastriformi e lentiformi/tabulari.

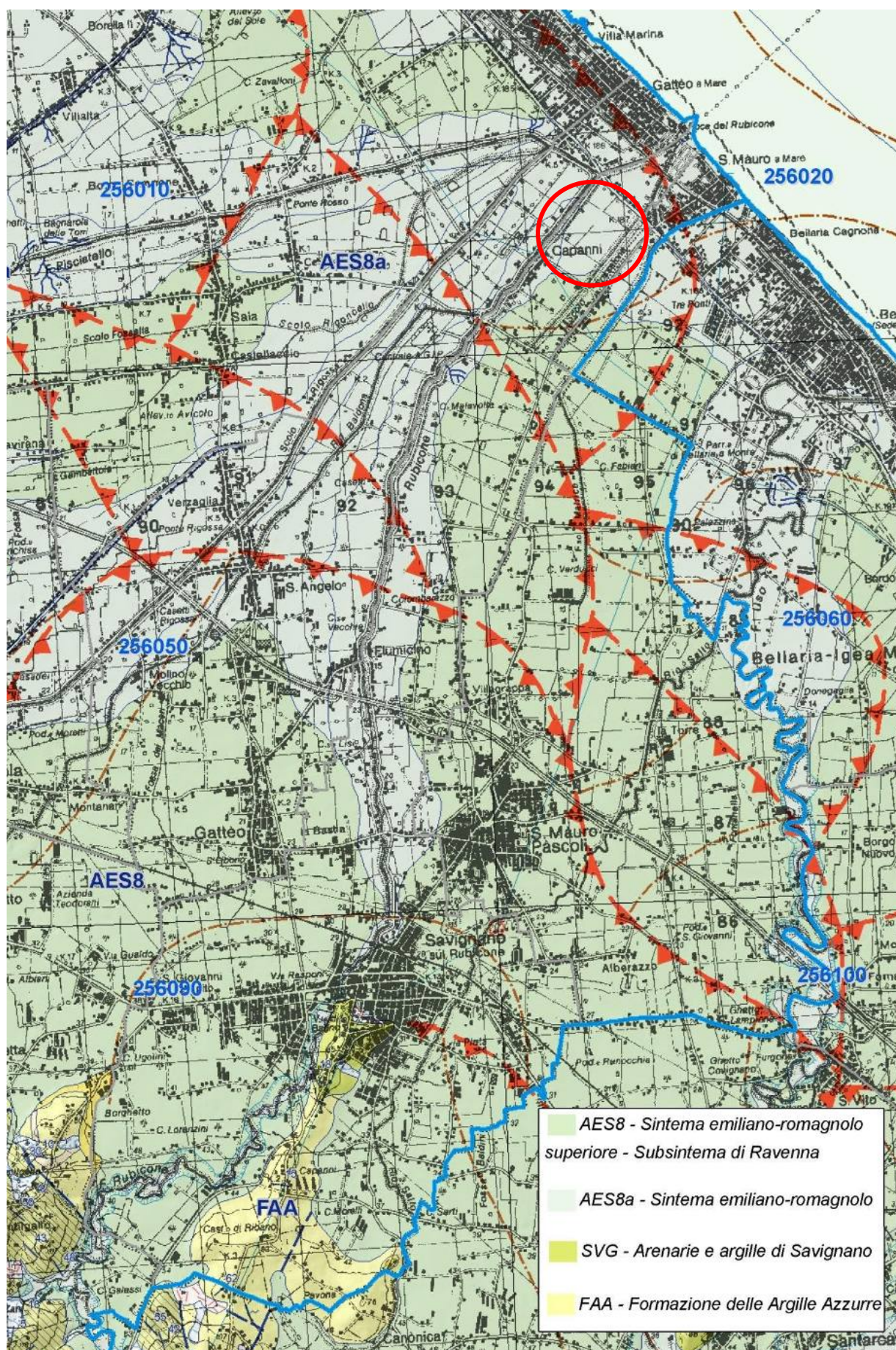


Figura 5 – Estratto della Carta geologica Regionale (non in scala)

In particolare, come riportato nelle note illustrative del progetto CARG - Foglio 256, nell'area in esame affiorano le seguenti unità:

Tale unità affiora a Sud dell'area in esame, si sviluppa in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, deposti nell'ultimo postglaciale. I depositi affioranti sono fini e vanno dalla sabbia media all'argilla e ai limi, deposti in ambiente di piana alluvionale sviluppata a valle dei conoidi. Le osservazioni sono basate essenzialmente dai sondaggi (si veda la banca dati disponibile sul sito web della Regione).

Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri; l'età è pleistocenica superiore-olocenica, le datazioni con il metodo C14 della base dell'unità oscillano tra 15000 e 9000 anni fa. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta, all'interno del Subsystema di Ravenna, l'Unità di Modena (AES8a).

Unità di rango inferiore che costituisce la parte sommitale del Subsintema di Ravenna, definita sulla base della presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, di colore grigio-giallastro.

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide.

L'area oggetto di studio è compresa nella "Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:5000", a cura del Servizio Geologico sismico e dei suoli, riportata in Fig. 6.



Coperture quaternarie (10K)

 AES8 - Subsistema di Ravenna

 AES8a - Unità di Modena

In ALLEGATO 1 è riportato un estratto della Carta Geologica RER insieme alla relativa legenda. Per l'area oggetto d'indagine viene riportata la presenza delle seguenti unità geologiche:

AES8a – Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. (Olocene). Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive.

Le indagini eseguite hanno riguardato la coltre superficiale argillosa limosa.

Si tratta quindi di una sedimentazione fine avvenuta in un ambiente fluvio-palustre di bassa energia. La sedimentazione è prevalentemente di tipo terrigeno, fine e finissima in un contesto territoriale contraddistinto da una fitta rete di corsi d'acqua, naturali e regimati, o antropici, collegati alle necessità irrigue.

Nell'area interessata l'unità è caratterizzata da una serie potente di sedimenti di tracimazione fluviale a granulometria prevalentemente argillosa limosa, con in subordinate eventi limo sabbiosi.

AES8 - Subsistema di Ravenna

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7.

(Pleistocene medio - sup.)

4.4 Inquadramento geomorfologico (lineamenti geomorfologici)

Il territorio di Savignano s.R. è parte di una più vasta zona di interconoide, compresa fra i fiumi Savio e Marecchia, dove esistono solamente piccoli corsi d'acqua, la cui limitata capacità di trasporto ha impedito la formazione di grandi conoidi sabbioso-ghiaiose; sono quindi presenti soprattutto sedimenti fini, anche in coerenza con le litologie dei rispettivi bacini imbriferi.

Dal punto di vista morfologico il territorio esaminato comprende una porzione del Bacino Idrografico del fiume Rubicone che interessa in particolare i comuni di Gatteo e Savignano sul Rubicone e per una piccola porzione il Bacino del torrente Uso (zona orientale del comune di San Mauro Pascoli).

A partire dai sistemi morfologici individuati, nell'area in esame si descrive un ambiente fluvio-lacustre in prevalenza di pianura alluvionale che comprende i depositi continentali di pianura alluvionale che colmano questa porzione terminale del bacino padano e sono del Pleistocene medio-Olocene.

L'ambiente fluvio-lacustre si estende dall'immediato entroterra della fascia costiera sabbiosa fino al margine collinare, ed è in prevalenza costituito dal volume di sedimenti di pianura alluvionale che colmano la depressione padana e raccordano, in superficie, il bordo della catena appenninica emersa, con la costa; in questo spazio di forma allungata in direzione appenninica (SO-NE), ampio fino a più di 9 Km nel territorio di Savignano sul Rubicone, è possibile distinguere unità geolitologiche ascrivibili ad ambienti diversi (Fabbri, 2000).

Le aree limitrofe alle sabbie costiere, descrivono un ambiente di "retro-duna" o "vallivo", originariamente costituito da acquitrini e paludi stagionali nei quali era frequente la deposizione di argille varvate e torba; sono zone interfluviali con gradienti topografici molto bassi e più depresse della pianura alluvionale, dove il deflusso delle acque verso il mare risulta ostacolato dalla morfologia più elevata della fascia costiera.

I sedimenti depositatisi in queste aree sono pertanto caratterizzati da tessiture fini, argillose e spesso torbose, con andamento lentiforme e consistenza da plastica a molle difficilmente distinguibili da quelli alluvionali sottostanti, ugualmente argilloso-limosi. Nel restante territorio di pianura dell'Unione Rubicone e Mare, affiorano depositi alluvionali argillosi e limosi con intercalazioni sabbiose, di età olocenica pleistocenica. In dettaglio la bassa pianura, che dalla zona vicina al mare si estende fin circa agli abitati di Gatteo e San Mauro Pascoli, è interessata da sedimenti omogenei dal punto di vista litologico: argillosi e limosi in matrice argillosa, solo sporadicamente intercalati da sottili lenti limo- sabbiose; solamente ai margini dell'asta fluviale del Rubicone si estende, in superficie, una fascia con più marcata componente sabbiosa (Fabbri, 2000).

4.5 Caratteri idrologici e idrogeologici

Per la corretta interpretazione e descrizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area, si può fare riferimento alla figura 7 che fornisce uno schema di comparazione tra la nomenclatura utilizzata in letteratura nell'ambito della definizione delle unità geologiche riconosciute classicamente, le sequenze deposizionali e la denominazione delle unità idrostratigrafiche proposta più recentemente.

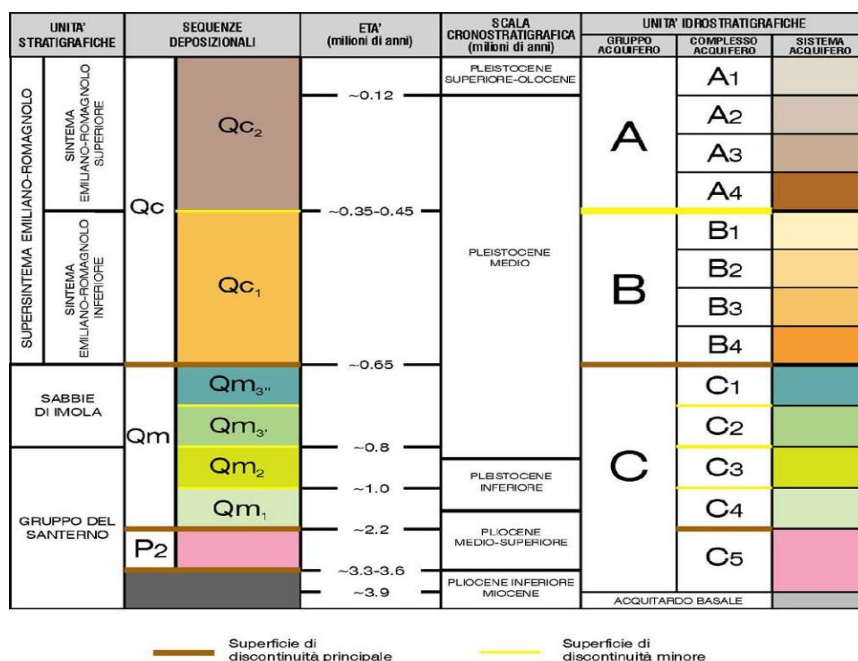


Figura 7 - Schema suddivisione dei depositi della pianura in tre unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C

Il sistema degli acquiferi di pianura ed in particolare dell'area delle conoidi del Rubicone e dell'Uso può essere considerato "multistrato", costituito da un acquifero principale a cui si interconnettono le singole falde, che solo localmente si presentano isolate, soprattutto quelle superficiali.

La geometria del tetto della prima falda e la ricostruzione della geologia di sottosuolo, indicano una certa comunicazione tra gli acquiferi superficiali e quelli sottostanti, almeno per l'area della conoide del Rubicone (interamente compresa nell'area del comune di Savignano).

Il corso del Rubicone ha, nella porzione meridionale del comune di Savignano, una chiara funzione drenante (raccolge l'acqua dalla falda), che tende a diminuire verso valle, fino a scomparire a sud della ferrovia, mentre in pianura, dopo un primo tratto in cui si presenta in equilibrio con la falda, pare svolgere un importante ruolo di ricarica della falda, dimostrato dall'accentuato innalzamento del livello statico (Frassinetti e Viel, 1997).

Nell'ambito di pianura le misure di soggiacenza rilevate evidenziano modeste variazioni di livello; sono però da sottolineare sia l'azione drenante svolta dal Rubicone, che deprime il livello freatico nella fascia adiacente al suo corso, soprattutto nelle zone a monte della Via Emilia (comune di Savignano), sia la tendenza complessiva della falda a risalire verso la superficie mano a mano che ci si sposta dall'alta alla bassa pianura; tale tendenza raggiunge il culmine fra Capanni, La Cagnona e la vecchia Adriatica (SS16), dove il livello freatico può arrivare a pochi decimetri dalla superficie, ed anche generare ampie zone di ristagno nei periodi piovosi (Fabbri, 2000). In sintesi, relativamente alla piezometria della falda acquifera superficiale, i dati desunti dalle Relazioni geologiche redatta dai geologi Viel e Frassinetti, Venturini e Fabbri per i PRG dei tre comuni facenti parte dell'Unione Rubicone e Mare indicano una soggiacenza abbastanza regolare, con valori mediamente compresi tra 1 e 2 m di profondità dal piano di campagna ed una alimentazione che avviene tramite l'infiltrazione delle acque meteoriche dalla superficie.

Dal punto di vista idrogeologico la granulometria prevalentemente argillosa limosa dei terreni presenti inibisce la formazione di una vera falda freatica, tuttavia la ricchezza della circolazione idrica superficiale fa sì che i terreni stessi siano comunque imbibiti con un alto tenore di umidità naturale che si posiziona attorno alle condizioni di saturazione, anche se la scarsa permeabilità non consente trasmissività significative.

La zona in esame è costituita da depositi fini che possono presentare una *permeabilità K* compresa tra 10^{-6} e 10^{-8} cm/sec.

4.6 Modello geologico

Il D.M. 17/01/20018, nella progettazione geotecnica (cap. 7) definisce il "modello geologico" come l'insieme dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici.

Nel caso in esame la situazione geologica-geomorfologica può essere sintetizzata da due principali caratteristiche del sito:

- 1) la morfologia pianeggiante;
- 2) Nell'area interessata dal presente progetto l'Unità è caratterizzata da una serie potente di sedimenti di tracimazione fluviale a granulometria prevalentemente limo argillosa, con in subordinate eventi limo sabbiosi e rari eventi più francamente sabbiosi.

Un aspetto fondamentale relativo alla "*pericolosità geologica del territorio*" è la sismicità: oltre all'intensità e ricorrenza degli eventi, il rischio sismico deve essere correlato localmente a fenomeni di amplificazione locale. In assenza di elementi topografici di rilievo (morfologia pianeggiante), l'eventuale amplificazione è legata agli effetti stratigrafici.

5. CARATTERI SISMICI

Il territorio del Comune di Savignano sul Rubicone (FC) è sismicamente classificato nella 2a categoria in base all'ordinanza O.P.C.M. 3274/2003. La zona 2 (media) ha valori di PGA compresi tra 0,15 e 0,25 g (dove PGA (Peak Ground Acceleration) indica il picco di accelerazione del suolo registrato o atteso durante un terremoto.)(Fig. 8).

L'O.P.C.M. n.3519 del 28 aprile 2006 (GU 11.5.2006), indica una riclassificazione sismica del territorio nazionale analizzando i valori di pericolosità espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$; cat A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005).

Con l'entrata in vigore del DM 14.01.08 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio di "zona dipendente". Infatti, secondo quanto riportato nell'allegato "A" del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 punti della griglia di accelerazioni (Allegato B – NTC 2008), tramite la media pesata.

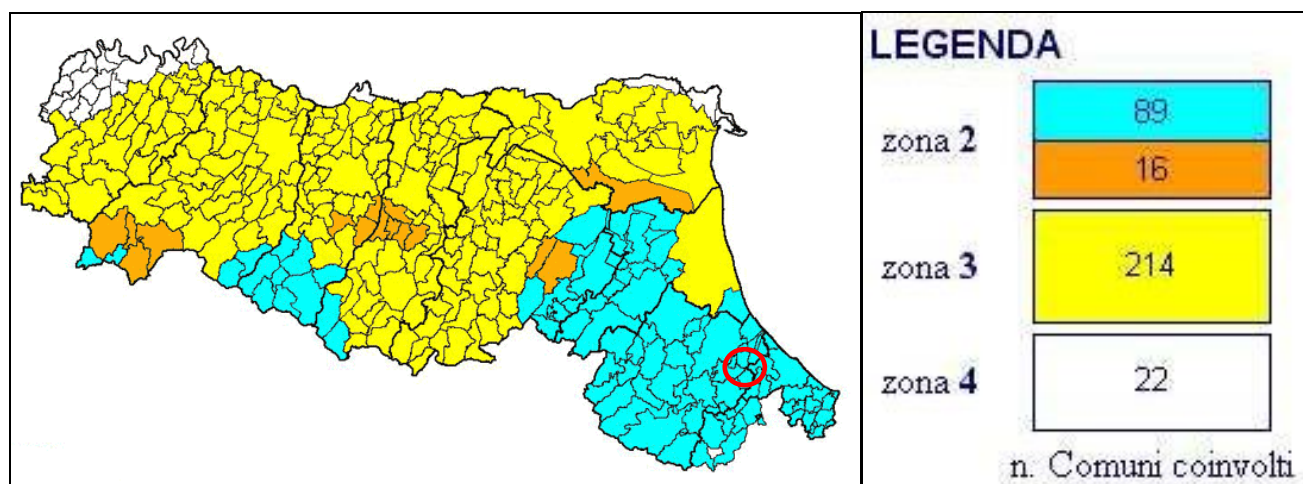


Figura 8: classificazione sismica del Comune di Savignano sul R. , secondo la normativa vigente.

Sulla base della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, presentata nell'aprile 2004 dall'INGV, il territorio in questione si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) compresa tra $0.150 \div 0.250$ (Fig. 9).

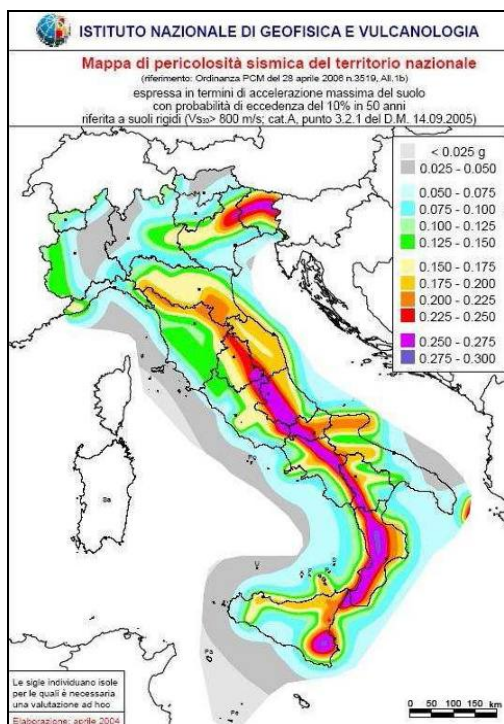


Figura 9: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, INGV (2004)

6. INDAGINE GEOGNOSTICA

6.1 Metodologia d'indagine

L'indagine geognostica di campagna, condotta per la caratterizzazione dei terreni ed eseguita nel febbraio 2025, è consistita nell'esecuzione di:

- n. 1 prova penetrometrica statica CPT con profondità pari a 27.0 m;
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo con profondità 30 m condizionato con piezometro a tubo aperto.

Durante le indagini e' stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale nella CPT1 alla quota di - 1.90 m dal pc.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Fig. 10 e 11, mentre i relativi logs stratigrafici e diagrammi delle CPT sono visualizzati in ALLEGATO 2.

La fig. 11 contiene anche l'ubicazione dei sondaggi eseguiti **nel 2012** nell'ambito della redazione dello studio geologico a firma del Dr. Geol. O. Moretti redatta per il precedente ampliamento del Centro Commerciale. I sondaggi, i dati delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi sono stati utilizzati dal sottoscritto per redigere la presente relazione, dato che le indagini da me eseguite hanno confermato la continuità laterale della litostratigrafia individuata dal Dr. Geol. Moretti nella sua relazione del 2012.

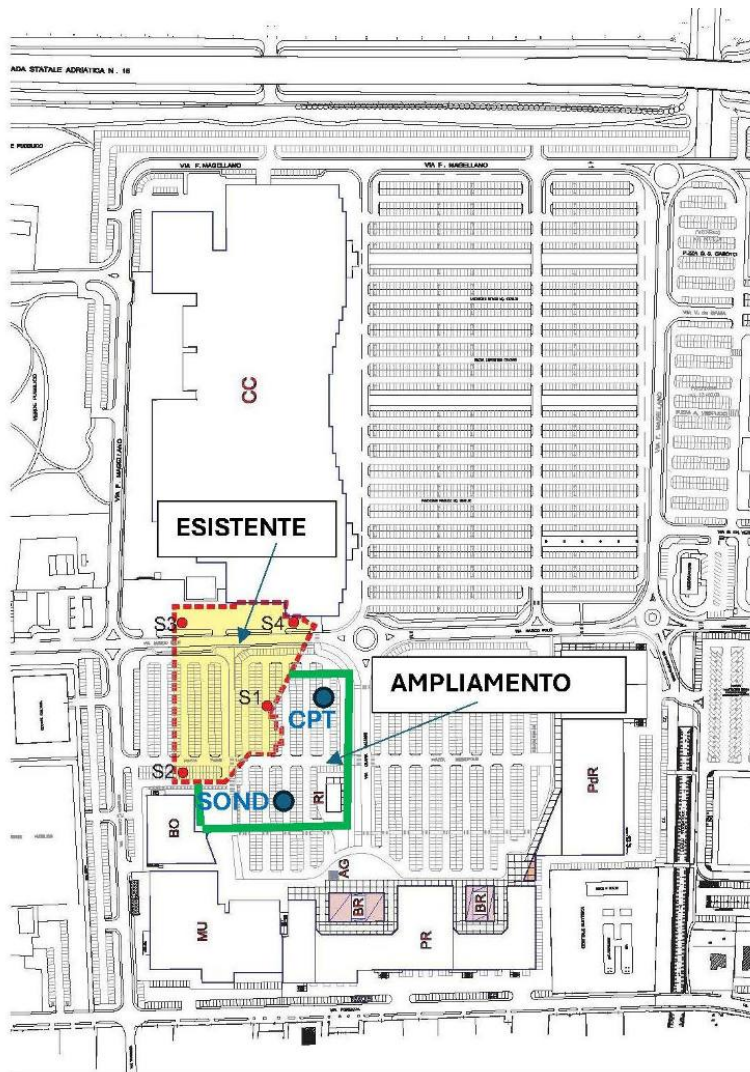


Figura 10: Ubicazione della prova CPT e del sondaggio a c.c. (ampliamento) e ubicazione delle indagini del 2012 (esistente)

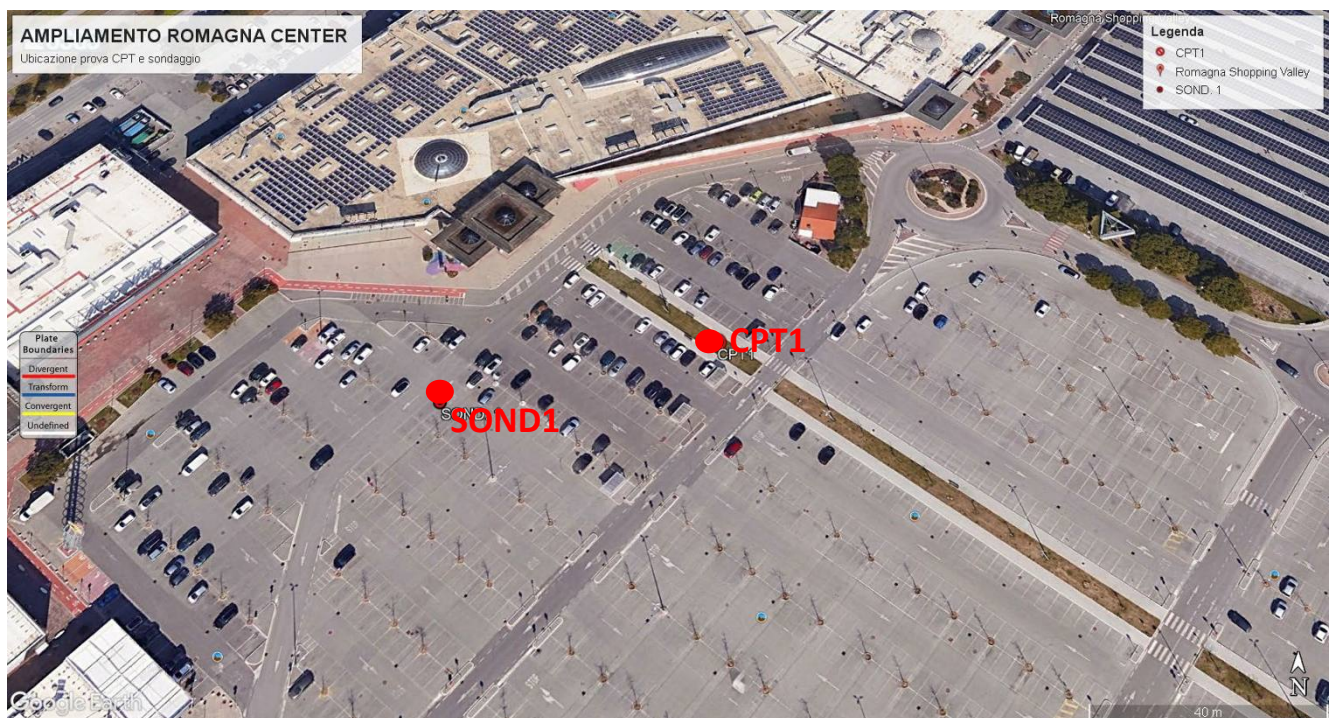


Figura 11: Ubicazione della prova CPT e del sondaggio a c.c.

Inoltre sul sito della Regione Emilia Romagna si è potuto accedere ad una vasta bibliografia di indagini in sito soprattutto del tipo prove penetrometriche che hanno consentito di avere una ampia visione delle problematiche progettuali. La fig. 12 individua l'area di progetto l'ubicazione delle diverse prove geognostiche censite in aree limitrofe e consultabili on line.



Figura 12: Ubicazione delle indagini geognostiche (Data Base RER)

6.2 Prova penetrometrica statica CPT

La prova penetrometrica statica CPT è stata eseguita mediante penetrometro PAGANI TG73-200 KN, semovente, con ancoraggi eseguiti tramite viti elicoidali, a punta meccanica Begemann. Le caratteristiche strumentali del Pagani TG73 sono: (Rif. ASTM D3441-86)

- Diametro punta conica 35,7 mm
- Angolo di apertura punta 60°
- Area punta 10 cmq
- Superficie Manicotto 150 cmq
- Passo letture 20 cm
- Costante di trasformazione CT: 10

Tale penetrometro permette l'esecuzione di prove statiche infiggendo una punta conica metallica a velocità costante e standardizzata a 2 cm/sec nel terreno mediante la pressione del gruppo di spinta idraulica che agisce su una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è situata la punta.

Il dispositivo di spinta è costituito da un martinetto idraulico che esercita sulla batteria di aste del diametro esterno di 36 mm e lunghezza di 1000 mm, un carico di 20 tons.

Durante le prova sono stati rilevati attraverso una cella estensimetrica di carico, i valori della resistenza alla punta (R_p) e della resistenza laterale (R_l) ogni 20 centimetri tramite display collegato alla testa di spinta. Le prove hanno raggiunto la profondità max di 10.40 metri dal piano campagna ed i relativi risultati sono visualizzati nel *Log penetrometrico* allegati a fine relazione (ALLEGATO 3).

In esso si possono notare:

- a) la curva della qc, che rappresenta la resistenza che incontra la punta dello strumento nell'avanzare nel terreno (e espressa in kg/cm²);
- b) la curva della fs, che indica la resistenza per attrito laterale esercitata sul manicotto dai terreni attraversati che è in funzione della coesione ed è espressa in kg/cm².

Inoltre sia dal rapporto qc/fs, secondo la teoria di Begemann e sia da quello qc-fs/qc secondo la teoria di Schmertmann, è possibile desumere la litologia dei terreni attraversati; si tratta di una litologia dedotta in base alle caratteristiche meccaniche, che in taluni casi può non corrispondere perfettamente alla litologia vera e propria. Le prove sono state eseguite in conformità alla norma AGI (1977).

Durante le prove è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale nella CPT1 alla quota di - 1.90 m dal pc..

6.3 Sondaggio a carotaggio continuo

Per l'esecuzione delle perforazioni si è fatto uso di una perforatrice idraulica modello IPC drill 830 L avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Motore PERKINS HP 84 a 2100 g/1';
Moteur / Engine;
- Momento torcente max Kgm. 975 - min. Kgm. 150;
Couple / Twisting;
- Giri testa di rotazione max 170/330 - min. 27/51;
Nombre de tours de la tête de rotation / Power swivel;
- Cambio di velocità a 5 marce + R.M.;
Changement de vitesse / Speed gear box;
- Senso di rotazione reversibile;
Sens de rotation reversible / Reverse circulation rotation;
- Avanzamento testa di rotazione automatico con possibilità di raddoppio della velocità;
Avance automatique de la tête de rotation avec possibilité de vitesse rapide pour manoeuvres;
Power feed of power swivel with possibility of quick speed for handling;
- Spostamento testa di rotazione idraulico;
Déplacement de la tête de rotation hydraulique / Hydraulic shifting of the power swivel;
- Corsa testa di rotazione mm. 3.500;
Course de la tête de rotation / Stroke;
- Lunghezza antenna mm. 5.400;
Longueur de la glissière / Length of the mast;
- Spinta sulla testa di rotazione Kg. 5.300;
Force de pression sur la tête de rotation / Pull down;
- Spinta di ritorno sulla testa di rotazione Kg. 7.000;
Force de traction sur la tête de rotation / Pull up;
- Traslazione antenna mm. 600;
Translation verticale de la glissière / Vertical translation of the mast;
- Argano idraulico da Kg. 1.000;
Treuil hydraulique / Hydraulic winch;
- Morsa di sostegno compreso svitatore delle aste da Ø 70 a Ø 250;
Mors pour devisser tiges de Ø 70 à Ø 250 / Jaw for unscrewing rods Ø 70 to Ø 250;
- Pompa a coccia portata lt. 120, pressione 20 atm.;
Pompe à eau / Water pump;
- Trattore Landini DT 8500;
Tracteur à roues Landini DT 8500/Wheeled tractor Landini DT 8500;
- Peso della macchina Kg. 8.000;
Poids de l'ensemble / Total weight;

La perforazione a carotaggio continuo è stata eseguita con tecnica a rotazione a carotaggio continuo utilizzando il carotiere semplice con corona al widia come da immagine di seguito riportata (Fig. 12 e 13):

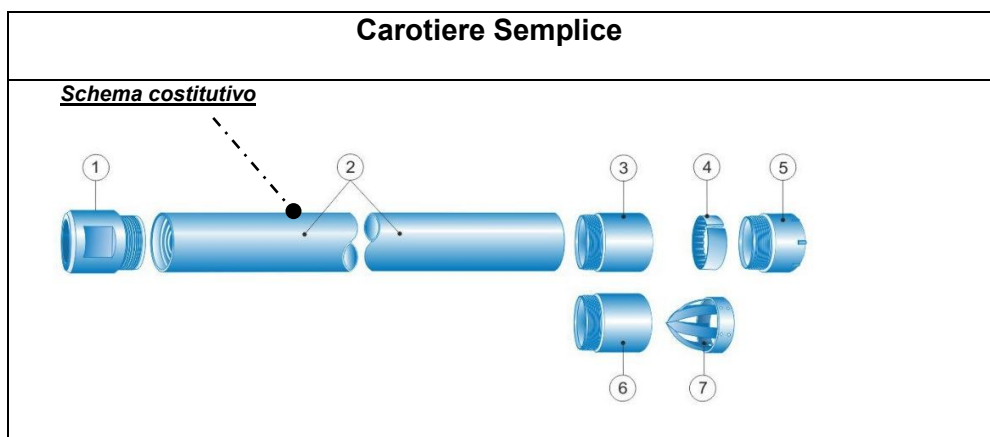


Fig.12: Schema carotiere utilizzati.



Fig.13: Corona a widia per carotiere semplice

Le carote di terreno estratte nel corso del sondaggio sono state conservate in apposite cassette catalogatrici in PVC, provviste di scomparti da 1.0 m di lunghezza e coperchio apribile. Su tali reperti di sondaggio, il geologo presente in cantiere, ha provveduto ad eseguire la descrizione stratigrafica, e, date le litologie riscontrate, prevalentemente terre, ha eseguito il rilievo geomeccanico delle carote indicando, nel certificato stratigrafico, i parametri e le osservazioni eseguite.

Per assicurare la stabilità della parete e del fondo del foro, e successivamente procedere all'installazione della strumentazione prevista, il foro di perforazione è stato armato mediante la posa in opera di tubi di rivestimento della lunghezza di 1.5 m ciascuno e diametro 127 mm.

IL log stratigrafico è riportato in ALLEGATO 3. Infine, tutte le cassette sono state infine fotografate e riposte, come da accordi con la Committenza, all'interno di un magazzino:



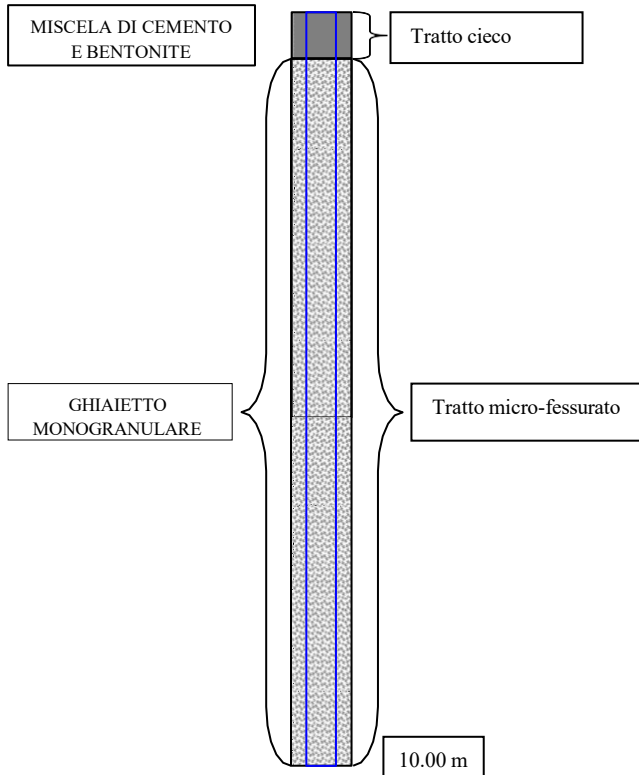
Fig.14: Cassette catalogatrici sondaggio

6.4 Piezometro a tubo aperto

Il foro di sondaggio è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto da 2.0'', con tratti micro-fessurati e tratti ciechi, posti alla profondità di 10.0 m.

Il completamento del tubo piezometrico nel foro di sondaggio è stato effettuato riempiendo l'intercapedine foro-tubo fessurato, mediante ghiaietto mono-granulare, al contrario l'intercapedine foro-tubo cieco è stata colmata con bentonite e cemento.

Si riporta di seguito uno schema esplicativo:



In data 25/02 è stata eseguita una misura piezometrica all'interno del piezometro che ha rilevato un livello di acqua alla profondità di 0.8 m dal p.c.

6.5 Prove in foro: prova S.P.T.

Le prove S.P.T. (Standard Penetration Test) sono state eseguite in avanzamento all'interno dei fori di sondaggio, con la porzione di foro sovrastante opportunamente rivestita. Per l'esecuzione delle prove sono state utilizzate attrezzature conformi a quanto stabilito nelle normative di riferimento ASTM D.1586/67 - 74, UNI ENV 1997-3:2002 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Progettazione assistita con prove in sito, UNI EN ISO 22476-3:2005 Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test).

La prova consiste nell'infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di un campionatore a pareti grosse di dimensioni standard (campionatore Raymond) nel fondo di un foro di sondaggio e nella registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 30 cm.

Il tubo campionatore è collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Per la prova sono state utilizzate le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- Maglio di acciaio di 63.5 kg;
- Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.
-

Il campionatore Raymond, ha diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Esso consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà; i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, o da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa o da una punta conica, a seconda delle litologie interessate dalla prova.

Le prove eseguite a punta aperta hanno permesso il prelievo di un campioncino semi-indisturbato i cui dettagli sono riportati nei certificati stratigrafici.

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

7. MODELLO GEOTECNICO – STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 Risultati delle indagini

Le indagini geognostiche hanno avuto la duplice finalità di acquisire la stratigrafia dei terreni di sedime del progetto **definendone** le caratteristiche fisiche e meccaniche **e di verificare la continuità dei depositi fini di piana così come indicato nella relazione del Dr. Moretti del 2012.**

7.2 Condizioni stratigrafiche locali (stratigrafia)

Dal carotaggio eseguito si rileva che:

- Al di sotto della pavimentazione in conglomerato bituminoso (20 cm) e di uno strato di 50 cm di massicciata costituita da ghiaie in matrice sabbiosa, si ha un primo strato fino alla profondità di circa 1,6 di limi sabbiosi e argille limose nerastre che rappresenta il terreno di riporto utilizzato come ricarico di terreno per colmare un abbassamento naturale del terreno.
- A seguire, fino alla profondità di indagine di 20.5 m sono presenti limi a vario tenore argilloso, di colore dal nocciola e marrone chiaro al grigio, talora con piccole inclusioni di resti carboniosi, e irregolarmente intervallati con livelli di limo sabbioso, anch'esso grigio o marrone chiaro, da cm a dm. La componente limo argillosa si presenta plastica alla manipolazione.
- Da 20,5 a 23.0 m è presente un pacco di sedimenti in prevalenza limo sabbiosi e sabbiosi limosi con livelli di limo argilloso come sopra
- Da 23.0 a 24.0 m è presente un pacco di limo argilloso grigio
- A seguire e cioè fino a 30 m, ritroviamo un pacco di alternanze di livelli di limo sabbioso e sabbia limosa con strati di limo argilloso.

Sono quindi evidenti i seguenti sei orizzonti stratigrafici:

LITOTIPI	Descrizione	Profondità (m)
A	Terreno di riporto Conglomerato bituminoso (20 cm) e strato di 50 cm di massicciata costituita da ghiaie in matrice sabbiosa	0.0-0.70
B	Limi sabbiosi e argille limose nerastre	0.70-1.60
C	limi a vario tenore argilloso, di colore dal nocciola e marrone chiaro al grigio, talora con piccole inclusioni di resti carboniosi, e irregolarmente intervallati con livelli di limo sabbioso, anch'esso grigio o marrone chiaro, da cm a dm.	1.60-20.5
D	Sedimenti in prevalenza limo sabbiosi e sabbiosi limosi con livelli di limo argilloso	20.5-23.0
E	Limo argilloso grigio	23.0-24.0
F	Pacco di alternanze di livelli di limo sabbioso e sabbia limosa con strati di limo argilloso.	24.0-30.0

La prova CPT eseguita è stata interrotta per l'aumento della resistenza alla punta. Durante la campagna geognostica è stata riscontrata la presenza di falda acquifera alla quota -1.90 m dal p.c. nella CPT1.

7.3 Prove S.P.T. in foro

I risultati delle prove SPT hanno fornito valori poco dispersi compresi NSPT = 8 e NSPT = **20** indicando una sostanziale omogeneità di comportamento dei terreni che sono quindi definibili **da mediamente consistenti a consistenti**.

7.4 Parametri geotecnici

Nella stratigrafia geotecnica la distinzione in strati del sottosuolo non si basa solo su criteri geologici o sedimentologici ma anche su criteri di tipo geotecnico, tra i quali il comportamento coesivo o incoerente o il grado di consistenza/addensamento.

Considerata la verificata omogeneità spaziale dei terreni studiati sia in senso orizzontale e sia in senso verticale vengono riproposti ed integrati i valori dei parametri geotecnici così come definiti dal collega Dr. Geol. Moretti nella sua relazione del 2012. In essa si evince che i parametri sono stati ricavati mediante i sondaggi eseguiti ed in particolare dalle prove SPT in foro e dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati nel coro dei sondaggi.

I valori dei parametri geotecnici dei diversi strati di terreno dell'area in esame, da me rilevati e riportati nella tabella sottostante, sono stati determinati in base:

- ai diagrammi di resistenza alla punta della prova CPT;
- alle esperienze empiriche di vari Autori dalla resistenza alla penetrazione delle prove CPT;
- ai valori di N_{spt} ;
- ai valori di resistenza al penetrometro tascabile

Le caratteristiche geomeccaniche così ottenute sono state poi verificate con:

- i parametri ottenuti dalle prove di laboratorio riportati nella relazione del 2012.

Non si tiene conto di eventuali intervalli a comportamento non francamente granulare o non francamente coesivo che possono interpersi negli orizzonti distinti e per i quali non sono applicabili le correlazioni R_p -Angolo di attrito o R_p -Coesione non drenata. Questi livelli, il cui comportamento potrebbe essere ininfluenza nelle valutazioni geotecniche che riguardano "grandi" volumi di terreno, potrebbero invece avere un ruolo importante ad esempio nella stabilità dei fronti di scavo o nelle dinamiche che coinvolgono "piccoli" volumi come ad esempio le fondazioni su plinti.

I parametri geotecnici di seguito riportati sono propedeutici alla individuazione dei valori caratteristici utilizzabili nella verifica agli stati limite di interesse. Tali parametri dovranno essere individuati in relazione alle problematiche geologico - tecniche nonché al volume significativo di terreno interessato. I valori da adottare nelle verifiche di calcolo che potranno essere scelti negli intervalli della tabella sottostante, rispondono al criterio di "stima ragionata e cautelativa" (paragrafo 6.2.2 NTC) che deve muovere la scelta all'interno di ogni modello geotecnico.

Dalla suddetta analisi si sono ricavati i seguenti **parametri geotecnici medi** riassunti in tabella:

STRATIGRAFIA LITOTECNICA E VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI							
Prof.		Descrizione	Rp	γ	C'	Cu	ϕ
m			Kg/cmq	g/cmc	Kg/cmq	Kg/cmq	°
A	0.0-0.70	Terreno di riporto Conglomerato bituminoso e massicciata costituita da ghiaie in matrice sabbiosa	/	1.9	/	/	19
B	0.70-1.60	Limi sabbiosi e argille limose nerastre	25	1.85	3.0	1.0	19
C	1.60-20.5	limi a vario tenore argilloso, irregolarmente intervallati con livelli di limo sabbioso, da cm a dm.	20	1.9	3.0	1.0	19

D	20.5-23.0	Sedimenti in prevalenza limo sabbiosi e sabbiosi limosi con livelli di limo argilloso	52	1.93	4.2	1.4	21
E	23.0-24.0	Limo argilloso grigio	25	1.90	3.8	1.3	21
F	24.0-30.0	Alternanze di livelli di limo sabbioso e sabbia limosa con strati di limo argilloso.	30	1.93	4.0	1.5	21

Simboli: γ =peso di volume; R_p =resistenza alla punta; C' =coesione drenata; C_u =coesione non drenata; φ' =angolo di attrito.

Occorre sottolineare che:

- *Il peso di volume naturale indica una variabilità contenuta e una sostanziale omogeneità indipendente dalla profondità;*
- *I terreni a granulometria molto fine che prevalgono e definiscono la stratigrafia si presentano con un elevato tenore di umidità naturale. Non sono saturi ma molto imbibiti.*
- *Le particolari condizioni granulometriche e la posizione del sito in un'area attraversata da corsi d'acqua naturali e artificiali, indicano condizioni tipo del sottosuolo perennemente in condizioni "non drenate" con una sostanziale impossibilità a passare dalle tensioni totali a quelle efficaci.*

7.5 Parametri geotecnici caratteristici

Al fine di ottemperare alle nuove NTC e con lo scopo di poter correttamente eseguire le verifiche geotecniche, dai parametri geotecnici misurati o comunque ricavati dall'indagine geotecnica vengono individuati, attraverso una *stima ragionata e cautelativa*, i Parametri Geotecnici caratteristici, da cui, con l'applicazione dei Coefficienti Parziali (γ_M), si ricavano i Parametri Geotecnici di progetto.

L'analisi statistica dei parametri derivati dalla campagna geognostica, suggerita dalla Circolare 7 fornisce metodi per ottenere la *stima ragionata e cautelativa* a cui le NTC 2018 fanno riferimento. I valori caratteristici dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione sono ottenuti attraverso le seguenti procedure: utilizzo dei valori medi con calcolo del frattile 5%. L'utilizzo della media deriva da quanto stabilito dalle nuove NTC, le quali lo prevedono quando *"nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti"*.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. Tali valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni sono stati ottenuti attraverso l'interpretazione dei dati medi acquisiti nell'indagine geotecnica. Applicando quanto contenuto nelle Istruzioni del CSLP si possono assumere i valori caratteristici delle terre i valori prossimi ai medi a meno di una deviazione standard: $V_k = V_m - \Delta$, calcolato con il metodo del frattile 5%.

8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

8.1 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'**Ordinanza n°3274 del 20/03/03** oltre ad individuare le 4 zone sismiche, definisce 7 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni, nota come "Vs30". In alternativa alla Vs30 possono essere usati parametri quali l'NSPT e la cu.

Questa suddivisione è il frutto degli studi sulle caratteristiche fisiche di questi terreni (granulometria, consistenza ecc.) e sul loro spessore rispetto al substrato rigido (bedrock).

La velocità media si calcola con la seguente espressione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. Le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni.

Dall'analisi stratigrafica si è evinta una certa omogeneità dei depositi di piana per cui si ritiene corretto fare riferimento all'analisi della categoria di suolo eseguita dal collega Dr. Moretti nella relazione del 2012.

In essa, in base valori di V_s (velocità di propagazione delle onde sismiche "s"), ai valori di C_u (coesione non drenata) ed ai valori di NSPT (numero di colpi ottenuti durante una prova di tipo Spt), viene ricavato il parametro **VS30**, pari a **160 m/sec** cui corrisponde una **categoria di suolo D**, secondo la **classificazione sismica dei suoli** (D.M. del 17 gennaio 2018).

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

8.2 Condizioni topografiche

Le condizioni topografiche locali, sono configurate da un assetto morfologico con inclinazione media inferiore a 15° che accredita l'ammissione alla categoria T1 (Tab. 3.2.III delle NTC).

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 $i > 30^\circ$

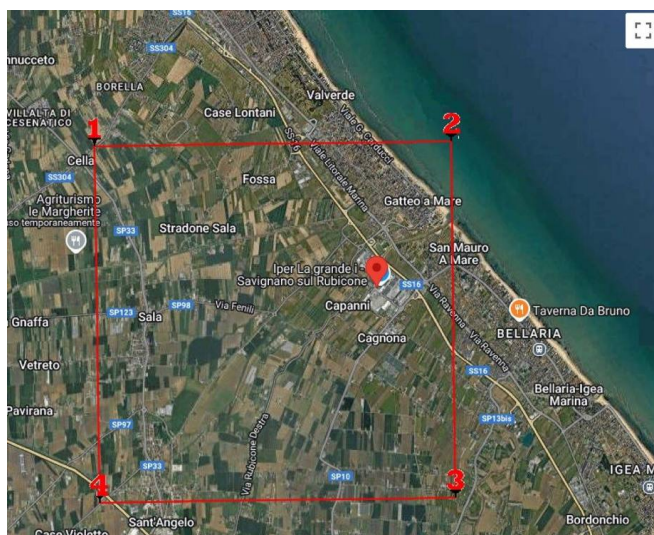
9. ANALISI DEI PARAMETRI SISMICI E PERICOLOSITA' SISMICA

Sulla base delle recenti disposizioni previste dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (anno 2018) si definiscono, per l'opera in progetto, i seguenti parametri sismici:

Sito in esame:

- WGS84 Lat 44,159585 Long 44,159585
- Classe d'uso: III
- Vita nominale: 100 [anni]

Siti di riferimento:



Sito 1	ID: 18299	Lat: 44,1796	Lon: 12,3749	Distanza: 4929,427
Sito 2	ID: 18300	Lat: 44,1803	Lon: 12,4446	Distanza: 2576,937
Sito 3	ID: 18522	Lat: 44,1303	Lon: 12,4455	Distanza: 3484,636
Sito 4	ID: 18521	Lat: 44,1296	Lon: 12,3758	Distanza: 5460,177

Parametri sismici:

- Categoria sottosuolo: D
- Categoria topografica: T1
- Periodo di riferimento: 100 anni
- Coefficiente c_u : 1,5

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	90	0,088	2,493	0,284
Danno (SLD)	63	151	0,114	2,448	0,284
Salvaguardia della vita (SLV)	10	1424	0,274	2,505	0,313
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,336	2,475	0,321

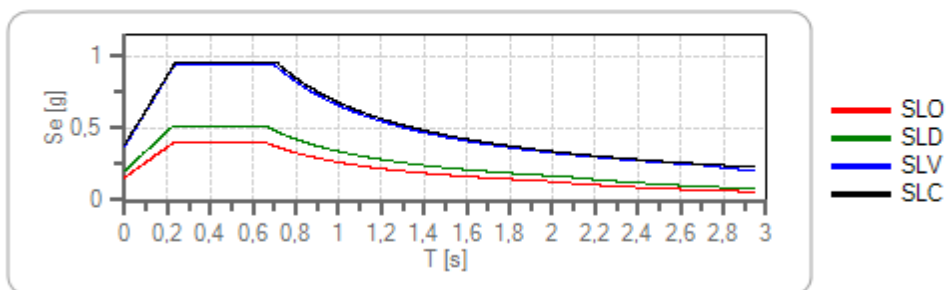
Coefficienti Sismici Satbilità dei pebndii NTC 2018:

	<i>Ss [-]</i>	<i>Cc [-]</i>	<i>St [-]</i>	<i>Kh [-]</i>	<i>Kv [-]</i>	<i>Amax[m/s²]</i>	<i>Beta [-]</i>
SLO	1,800	2,350	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
SLD	1,800	2,340	1,000	0,012	0,006	0.600	0,240
SLV	1,370	2,230	1,000	0,017	0,009	0.600	0,280
SLC	1,150	2,210	1,000	0,017	0,009	0.600	0,200

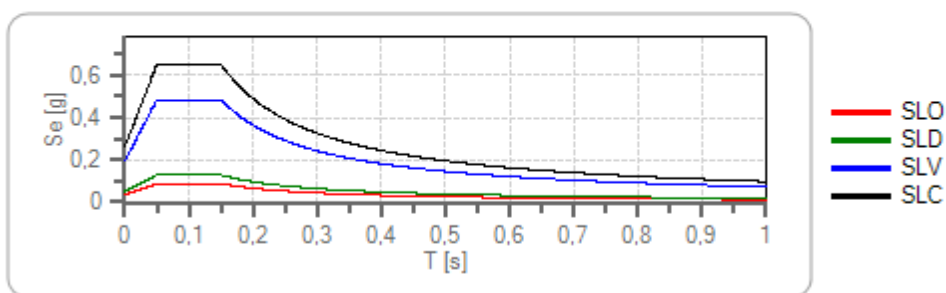
Spettri di risposta:**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali**

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5%

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

	cu	Ag (g)	Fo	Tc* (s)	Ss	Cc	St	S		TB (s)	TC (s)	TD (s)
SLO	1,5	0.088	2.493	0.284	1.800	2.350	1.000	1.800	1.000	0.222	0.667	1.952
SLD	1,5	1,114	2.488	0.284	1.800	2.340	1.000	1.800	1.000	0.222	0.665	2.055
SLV	1,5	0.274	2.505	0.313	1.370	2.230	1.000	1.370	1.000	0.233	0.699	2.695
SLC	1,5	0.336	2.475	0.321	1.150	2.210	1.000	1.150	1.000	0.236	0.709	2.944

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

	cu	Ag (g)	Fo	Tc* (s)	Ss	Cc	St	S		TB (s)	TC (s)	TD (s)
SLO	1	0.088	2.493	0.284	1.000	2.350	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLD	1	1,114	2.488	0.284	1.000	2.340	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLV	1	0.274	2.505	0.313	1.000	2.230	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLC	1	0.336	2.475	0.321	1.000	2.210	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000

Spettro di progetto

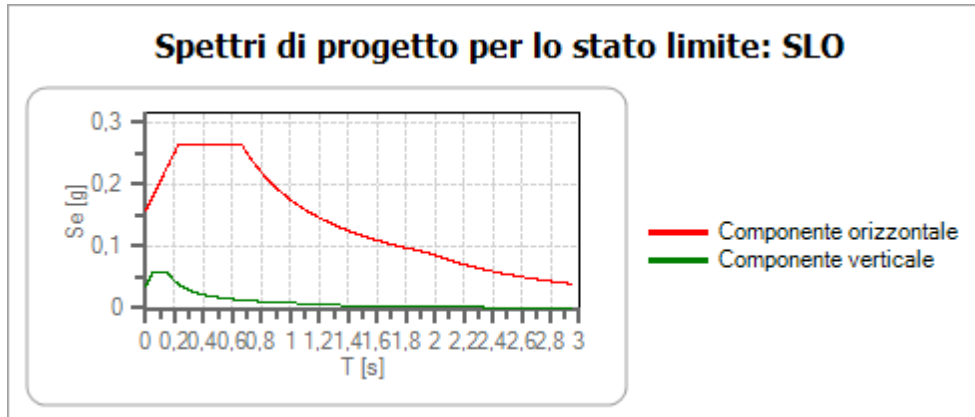
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0.667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0.667

Strato limite: SLO



	cu	Ag(g)	Fo	Tc*(s)	Ss	Cc	St	S	q	TB(s)	TC(s)	TD(s)
SLV Oriz.	1	0.088	2.493	0.284	1.800	2.350	1.000	1.800	1.500	0.222	0.667	1.952
SLV Vert.	1	0.088	2.493	0.284	1.800	2.350	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000

10. LIQUEFAZIONE

Trattandosi di sedimenti limo argillosi coesivi, in teoria escludo la possibilità di liquefazione.

Anche l'elaborazione della prova CPT in funzione della liquefazione conferma la presenza di un **deposito non liquefacibile**.

Si consiglia comunque di fare in modo che la progettazione e la successiva realizzazione delle opere avvenga nel rispetto delle norme sismiche attuali.

11. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica ha studiato le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno su cui è previsto l'ampliamento del Centro Commerciale Romagna Center con la costruzione di un nuovo manufatto in località Capanni, in Comune di Savignano al Rubicone (FC).

E' stato eseguito un rilievo geologico-geomorfologico i cui risultati sono riportati nei § 3-4.

L'indagine geognostica eseguita e descritta nel §6, ha permesso di definire la situazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni dell'area in oggetto. L'area sulla quale sorge il centro commerciale che si andrà a completare si trova prossima alla linea di costa, a circa un chilometro, sulle ultime propaggini del sistema della pianura padana romagnola. I terreni presenti sono costituiti da alluvioni di tracimazione a granulometria fine o finissima con prevalenza dei limi, limi argillosi, talora con letti e livelletti di limi sabbiosi. Si tratta di terreni a comportamento coesivo, di media consistenza, tendenzialmente cedevoli e plastici.

Nel corso della prova CPT è stata registrata la presenza di falda nel sottosuolo alla quota di -1.90 m; in ogni caso i sedimenti fini risultano molto imbibiti con livelli di saturazione prossimi al 100%.

La mancanza di una permeabilità significativa inibisce la circolazione e la migrazione dei fluidi nel sottosuolo, non essendoci trasmissività le condizioni sono quindi prevalentemente quelle di un contenuto naturale d'acqua nella porosità intergranulare, elevata, ma statica.

Nel § 7 è stato definito il profilo stratigrafico ed è riportato il modello geotecnico che raccoglie tutte le informazioni ottenute dall'indagine geognostica; sono stati definiti i parametri geotecnici.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, nel § 8 è stato elaborato il profilo stratigrafico ai sensi dell'Ordinanza n°3274 del 20/03/03. Per i terreni costituenti il sottosuolo si sono potuti indicare i seguenti parametri: Vs30 : 160 m/sec, Profilo stratigrafico: categoria D.

Nel § 9 si sono calcolate le azioni sismiche con i parametri sismici.

Le indagini geognostiche hanno avuto la duplice finalità di acquisire la stratigrafia dei terreni di sedime del progetto **definendone** le caratteristiche fisiche e meccaniche **e di verificare la continuità dei depositi fini di piana così come indicato nella relazione del Dr. Moretti del 2012.** Considerata la verificata omogeneità spaziale dei terreni studiati sia in senso orizzontale e sia in senso verticale vengono riproposti ed integrati i valori dei parametri geotecnici così come definiti dal collega Dr. Geol. Moretti nella sua relazione del 2012.

Verucchio, febbraio 2025

Dr. Geol. Gianluca Venturini

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta Geologica RER
- ALLEGATO 2 – Ubicazione indagini
- ALLEGATO 3 – LOG SONDAGGIO E CPT

ALLEGATO 1
CARTA GEOLOGICA
Scala 1:5.000



Legenda

Province



Comuni



Griglia 10.000



Prove puntuali

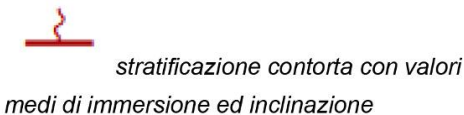
- prova CPT con punta meccanica
- prova dinamica con penetrom. superpesante (SCPT)
- prova dinamica generica

Risorse e prospezioni (10K)



cava inattiva

Punti di osservaz. e misura (10K)



stratificazione contorta con valori medi di immersione ed inclinazione



stratificazione dritta

Coperture quaternarie (10K)

AES8 - Subsintema di Ravenna

AES8a - Unità di Modena

a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango

a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato

a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

a3 - Deposito di versante s.l.

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

b1a - Deposito alluvionale in evoluzione fissato da vegetazione

Limiti di unità geologiche (10K)

—contatto stratigrafico o litologico certo

—contatto stratigrafico o litologico incerto

—faglia incerta

—limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)



Unità geologiche (10K)

AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia

MLL - Formazione di Monte Morello

SMN - Formazione di San Marino

ALLEGATO 2 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

AMPLIAMENTO ROMAGNA CENTER

Ubicazione prova CPT e sondaggio

Plate
Boundaries
Divergent
Transform
Convergent
Undefined

Legenda

- CPT1
- Romagna Shopping Valley
- SOND. 1

Google Earth

N

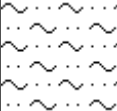
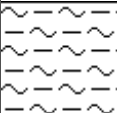
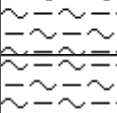
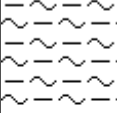
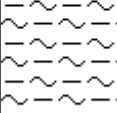
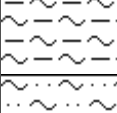
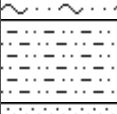
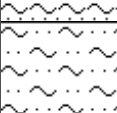
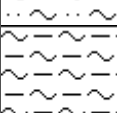
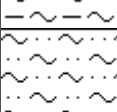
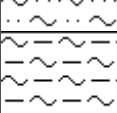
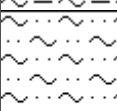
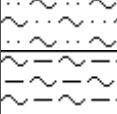
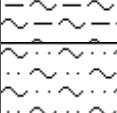
40 m

ALLEGATO 3

LOG STRATIGRAFICO E DIAGRAMMA PROVA CPT

% CAROTAGGIO — R.Q.D. —

Unione Rubicone e Mare
documento firmato digitalmente
Protocollo 00395758 del 17/05/2023

S.P.T. Prof. Tipo Valori	CAMPIONI		STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE	Prof. (m)	Carot. (%)	RQD (%)	Pocket Test		Vane Test		FALDA		Piezo- metri	Diam. (mm)	Metodo Perf.ne	Metodo Stab.ne
	Prof.	Tipo					Test	kg/cmq	Rinv	Stab						
Protocollo 0039758 del 17/11/2025 10:43:32	16			Limo argilloso grigio con livelli centimetrici sabbioso-limosi grigi, mediamente consistente (rimaneggiato per sfilamento)	16.0				0.5	0.3						
									0.6	0.3						
									0.7	0.3						
	17			Limo argilloso grigio, mediamente consistente					0.9	0.4						
									1.1	0.5						
									0.7	0.3						
	18			Limo argilloso grigio-nocciola, con livelli di limo sabbioso da centimetrici a decimetrici. Da mediamente consistente a consistente	17.4				1.1	0.5						
									0.6	0.3						
									0.7	0.6						
	19								0.7	0.3						
									1.1	0.5						
									1.0	0.5						
	20								1.4	0.6						
									1.1	0.5						
									1.2	0.5						
	21				20.5				1.2	0.5						
									0.9	0.4						
									1.0	0.4						
	22			Limo sabbioso fine nocciola e grigio, mediamente consistente	21.0				0.8	0.4						
									0.9	0.8						
	23			Limo argilloso nocciola con livelli di limo sabbioso e sabbia limosa	21.7											
	24			Sabbia limosa nocciola-ocracea	22.0											
	25			Limo sabbioso nocciola con variegazioni grigie	23.0											
26			Limo argilloso grigio	24.0												
27			Limo sabbioso nocciola	25.0												
28			Limo argilloso grigio scuro - nerastro, consistente	25.8				1.3	0.6							
								1.2	0.5							
29			Limo sabbioso grigio													

Prova n.: CPT1
Cantiere: Savignano Rubicone (FC) - Piazza
Cristoforo Colombo - Romagna Shopping Valley
Data: Febbraio 2025

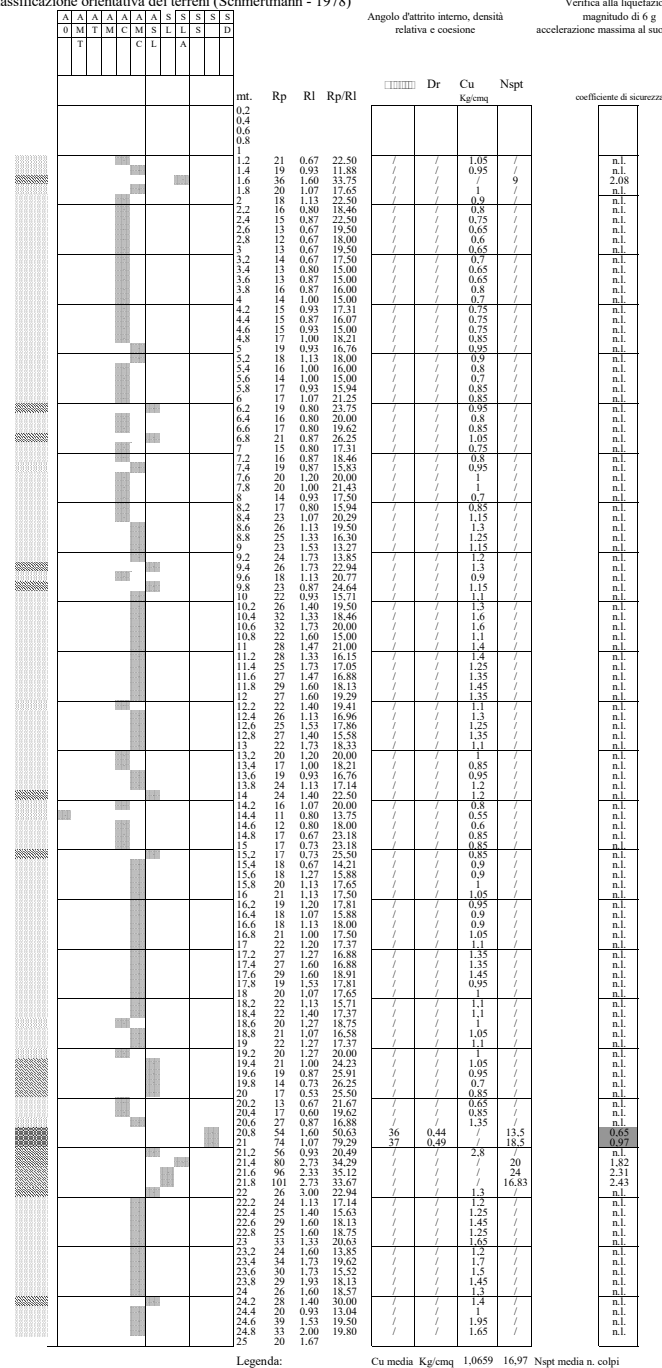
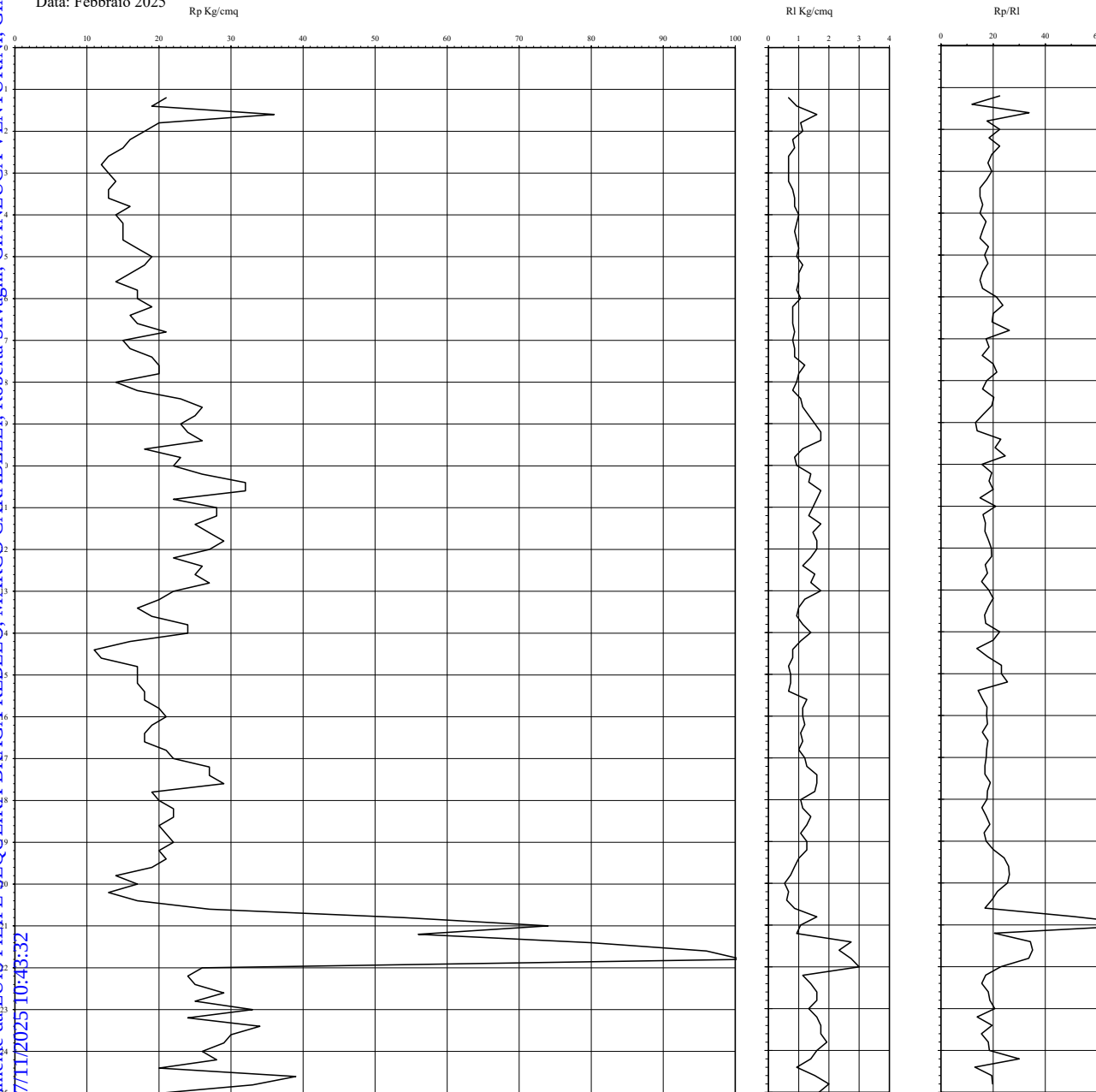
Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: -1,90 mt.
Note:

Intergeo s.r.l. - Servizi Geologici - info@intergeosm.com

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

Verifica alla liquefazione
magnitudo di 6 g
accelerazione massima al suolo 0,25 g



Legenda:

Cu media Kg/cm² 1,0659 16,97 Nspt media n. colp

n.l. non liquefacibile



argilla
sabbia
sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

