



COMUNE di RIMINI

Piano Op. Fondo Sviluppo e Coesione (FSC) Infrastr. 2014-2020
Messa in sicurezza SS16 in corrispondenza dell'attraversamento
del Centro Abitato di Rimini - Polo Intermodale su SS 16 -
Aeroporto – TRC

ROTATORIA Via Cavalieri di VV - SS16

CUP C91B17000740001- Fascicolo 2018-245-018

PROGETTO di Fattibilità Tecnico Economica e DEFINITIVO

All. C RELAZIONE GEOLOGICA di 2° Livello

Rev. 00

PROGETTISTA:
Ing. Paolo Vicini

IL RESPONSABILE DI PROCEDIMENTO:
Ing. Alberto Dellavalle

COLLABORATORI:
PROGETTISTA PUBBLICA ILLUMINAZIONE:
P.I. Igino Vichi

ANALISI RUMORE
NoRumore - Dott. Casadio - Forlì

STUDIO GEOLOGICO
Dott. Ronci Stefano -Geologo -Rimini

ANALISI AMBIENTALI
Ing. Elena Favi
Ing. Barbara Semprini Cesari

INDAGINI GEOLOGICHE
Intergeo S.R.L. - RSM

ARCHEOLOGICA:
Interras Soc. Coop Arl - Forlì
STUDIO GEOLOGICO PALEOFALESIA
Dott. Copioli Carlo

RILIEVO TOPOGRAFICO e
PIANO PARTICOLAREGG. DI ESPROPRIO:
Studio Esageo - Rimini

DISEGNATORE
Ing. Emanuel Tamburini
Ing. Giulio Zannoli

Rimini lì. febbraio 2021

Studio di Geologia Dott. Stefano Ronci

RELAZIONE GEOLOGICA

PER VARIANTE URBANISTICA

Progetto: **PIANO OPERATIVO FONDO SVILUPPO E COESIONE SOCIALE (FSC) 2014-2020 –MESSA IN SICUREZZA SS16: POLO INTERMODALE AEROPORTO-TRC, ROTATORIA SS16 - VIA CAVALIERI DI VITTORIO VENETO**

Ubicazione: Via Cavalieri di Vittorio Veneto intersezione Strada Statale n.16 Adriatica, Rimini (RN)

Committente : COMUNE DI RIMINI

Dott. Geol. Stefano Ronci

Rimini Gennaio 2021

Dott. Stefano Ronci Geologo
Viale Cordevole 21/a, 47921 RIMINI, Cell.0335/5894090
e-mail: stefanoronci20@gmail.com pec:stefanoronci20@epap.sicurezza postale.it

SOMMARIO

1 – PREMESSA	1
2 – GEOLOGIA	2
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	2
2.2 IDROGEOLOGIA	9
2.3 MODELLO GEOLOGICO	10
3– INDAGINI GEOGNOSTICHE	11
3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE.....	14
3.2 CORRELAZIONI PARAMETRI GEOTECNICI DA PENETROMETRIE STATICHE	14
3.3 RILIEVO DEL LIVELLO DI FALDA.....	15
4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	15
4.2 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE CONSULTATE.....	19
5 – RISCHIO SISMICO	22
5,1 SISMICITÀ DELL'AREA	22
5,2 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO.....	22
5,3– MICROZONAZIONE SISMICA	23
5,3 AZIONE SISMICA.....	29
5,4 EFFETTI LOCALI: LIQUEFAZIONE DEI TERRENI SABBIOSI E CEDIMENTI INDOTTI DAL SISMA.....	29
7 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI.....	29
8 – CONCLUSIONI.....	30

ALLEGATI

ALLEGATO 1 PROVE PENETROMETRICHE CPT

FIGURE NEL TESTO

Figura 1 Vista aerea (Google Maps).....	1
Figura 2 Inquadramento cartografico.....	3
Figura 3 Dettaglio Elemento 256163 CASALECCHIO	5
Figura 4 Carta Geologica RER (Sezione 256070 Torre Pedrera)	6
Figura 5 Sezione Geologica Parallela alla Costa (Sez.059 RER)	8
Figura 6 Sezione geologica perpendicolare alla linea di costa.	9
Figura 7 Carta dello Spessore delle Coperture del PSC	9
Figura 8 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali	11
Figura 9 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso della prova	12
Figura 10 Planimetria con ubicazione delle indagini.....	13
Figura 11 Grafici per l'interpretazione della litologia da prove CPT (Schmertmann e di Robertson).....	14
Figura 12 Sezione stratigrafica schematica (Scala Verticale esagerata 1:100)	16
Figura 13 Profilo penetrometrico, Resistenza di Punta	17
Figura 14 Andamento dei principali parametri geotecnici.....	18
Figura 15 Ubicazione indagini, Curve di dispersione degli array bidimensionali.....	19
Figura 16 Profilo Vs tratto dalle indagini del PSC, dalle CPT c	20
Figura 17 Spettri H/V.....	20
Figura 18 PSC Comune di Rimini Carta della velocità delle onde di taglio (Tav. B.16b).....	21
Figura 19 Istogramma degli eventi sismici.....	22
Figura 20 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci	25
Figura 21 Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione di PGA (tavola PSC.1.3.2b).....	26
Figura 22 PSC Stralcio della Carta degli Ambiti Sismici Omogenei -B.14b -	27
Figura 23 D.A.L.112/2007, Tabelle All.2, punto A2.1.1 (Substrato marino profondo >100 dal pc-).....	28
Figura 24 DGR 630 Tabelle All.2 punto A2.1.2.....	28

1 – PREMESSA

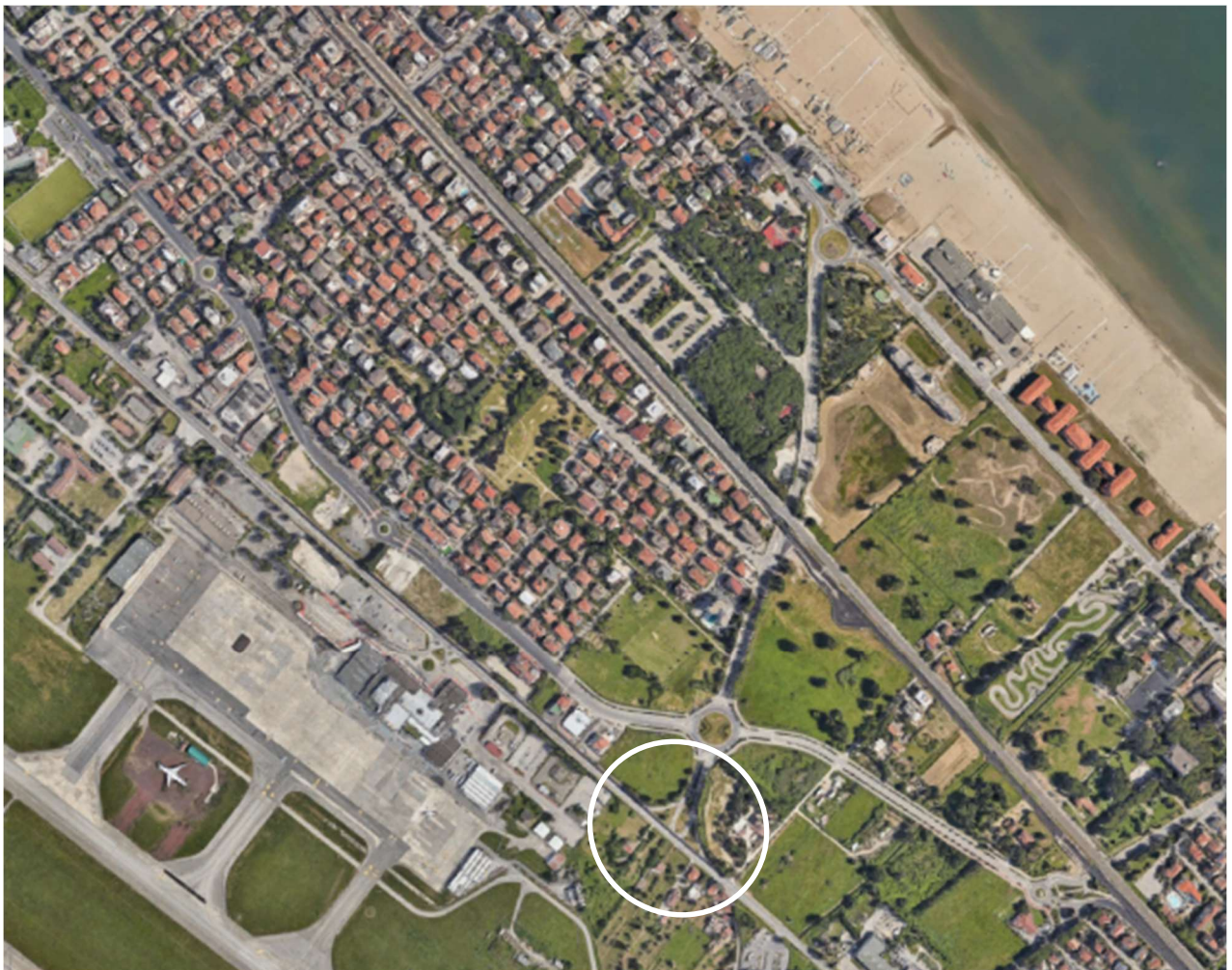
Si è eseguito, su incarico del Comune di Rimini, uno studio geologico ed un'indagine geognostica per acquisire gli elementi necessari alla *variante urbanistica* ed alla progettazione di una rotatoria, situati all'intersezione fra la Strada Statale n.16 Adriatica e la Via Cavalieri di Vittorio Veneto.

Lo studio si è svolto in riferimento all'Atto di Coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui al DPR 630 del 2019, ed alla Relazione di Microzonazione Sismica del Piano Strutturale Comunale di Rimini.

Lo scopo dello studio è quello di:

- a) *descrivere il contesto geologico e geomorfologico dell'area*
- b) *definire la stratigrafia del sottosuolo e valutare le qualità geotecniche dei terreni*
- c) *descrivere l'assetto idrogeologico ed eventuali aspetti di vulnerabilità*
- d) *definire le caratteristiche sismiche del sito, così come prevista dalle normative sopra citate, quindi analizzare il rischio sismico locale*

Figura 1 Vista aerea (Google Maps)



Il lavoro si basa sulla ricerca e studio dei dati bibliografici, su un rilievo geologico geomorfologico speditivo e sull'indagine in sito condotta il giorno 8 Gennaio 2021, quando è stata eseguita una campagna di prove penetrometriche statiche con punta meccanica.

Lo studio si avvale dei sondaggi stratigrafici del database geognostico regionale (https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia), dei rilievi geofisici del PSC del Comune di Rimini e delle indagini condotte personalmente nel corso di precedenti lavori.

2 – GEOLOGIA

2.1 Inquadramento Geologico e Geomorfologico

L'area oggetto di intervento è descritta al margine dell'Elemento CTR 256163 Casalecchio e sulla Sezione 256160 Riccione Marina della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna. (fig.2, 3 e 4).

Si tratta di un zona situata al margine fra la pianura alluvionale e quella della fascia costiera riminese: l'area dista circa 860 metri dal mare, è pianeggiante ed ha una quota del mare indicativamente di 7-8 metri slm.

Geologia e tettonica

La zona riminese è caratterizzata dal passaggio degli ultimi rilievi collinari costituiti prevalentemente da sedimenti marini plio-pleistocenici, alle pianure di origine alluvionale e quindi verso valle, alla pianura costiera. Lo spessore dei sedimenti alluvionali della pianura, nella zona centrale della valle del Marecchia e dell'Uso, è dell'ordine delle centinaia di metri. Il substrato di origine marina, nella direzione trasversale alla valle, si assottiglia procedendo verso da ponente verso levante (vedi figg.4 e 5). La causa del profilo del substrato è da ricercarsi nella tettonica correlata all'orogenesi appenninica, in cui le spinte con direzione SW-NE hanno determinato la formazione di sistemi di accavallamenti con l'emersione dei depositi marini della catena in emersione e, oltre alla zona di cerniera, le zone subsidenti. Il sistema di faglie con direttrice antiappenninica (SW-NE), conseguente a questa cinematica, è intercettato da faglie trasversali con direttrice appenninica che sono tuttora simicamente attive e sulle quali si sono instaurate le principali aste fluviali (Marecchia, Uso, Ausa). Il sovrapporsi dei fenomeni tettonici e dei processi deposizionali è all'origine della natura e della geometria dei sedimenti dei bacini dell'Avanfossa appenninico adriatica.

Il sovrapporsi dei fenomeni tettonici e dei processi deposizionali è all'origine della natura e della geometria dei sedimenti dei bacini dell'Avanfossa appenninico adriatica. La comprensione del contesto e delle vicende geologiche consente di definire l'assetto strutturale del sottosuolo, le geometrie, la natura dei sedimenti presenti, e, in termini generali, le loro caratteristiche e variazioni tessiturali.

Figura 2 Inquadramento cartografico



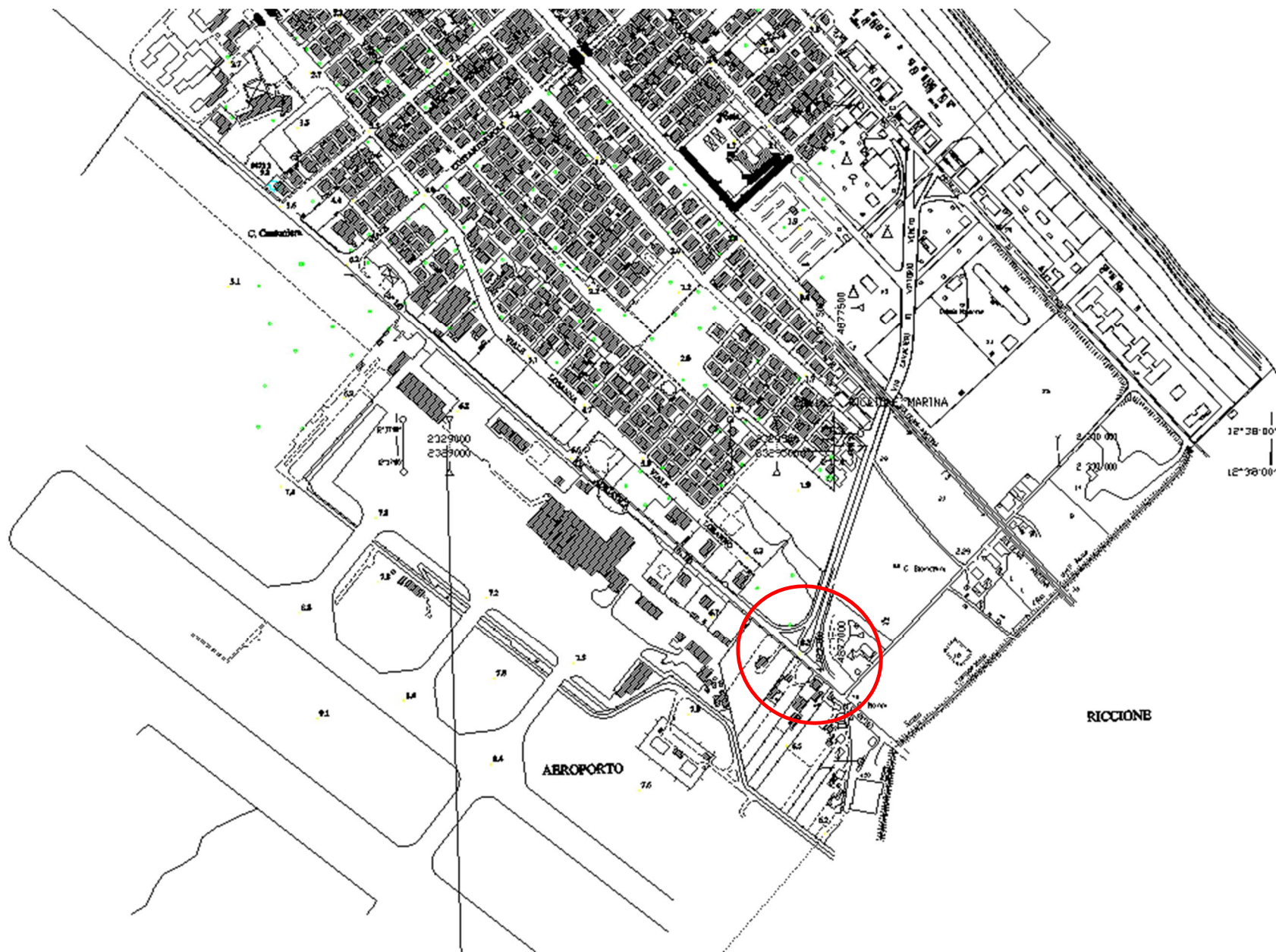


Figura 3 Dettaglio Elemento 256163 CASALECCHIO

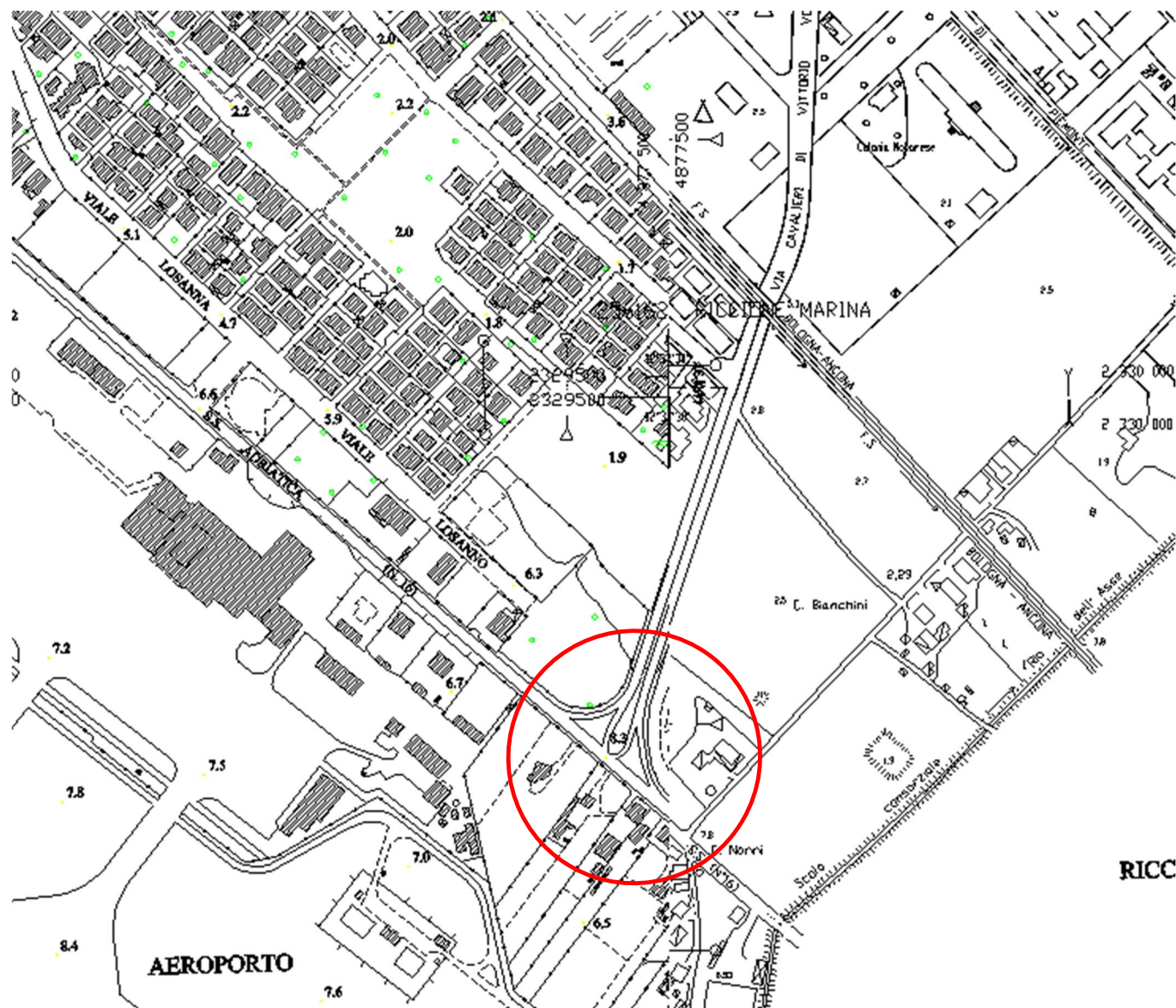
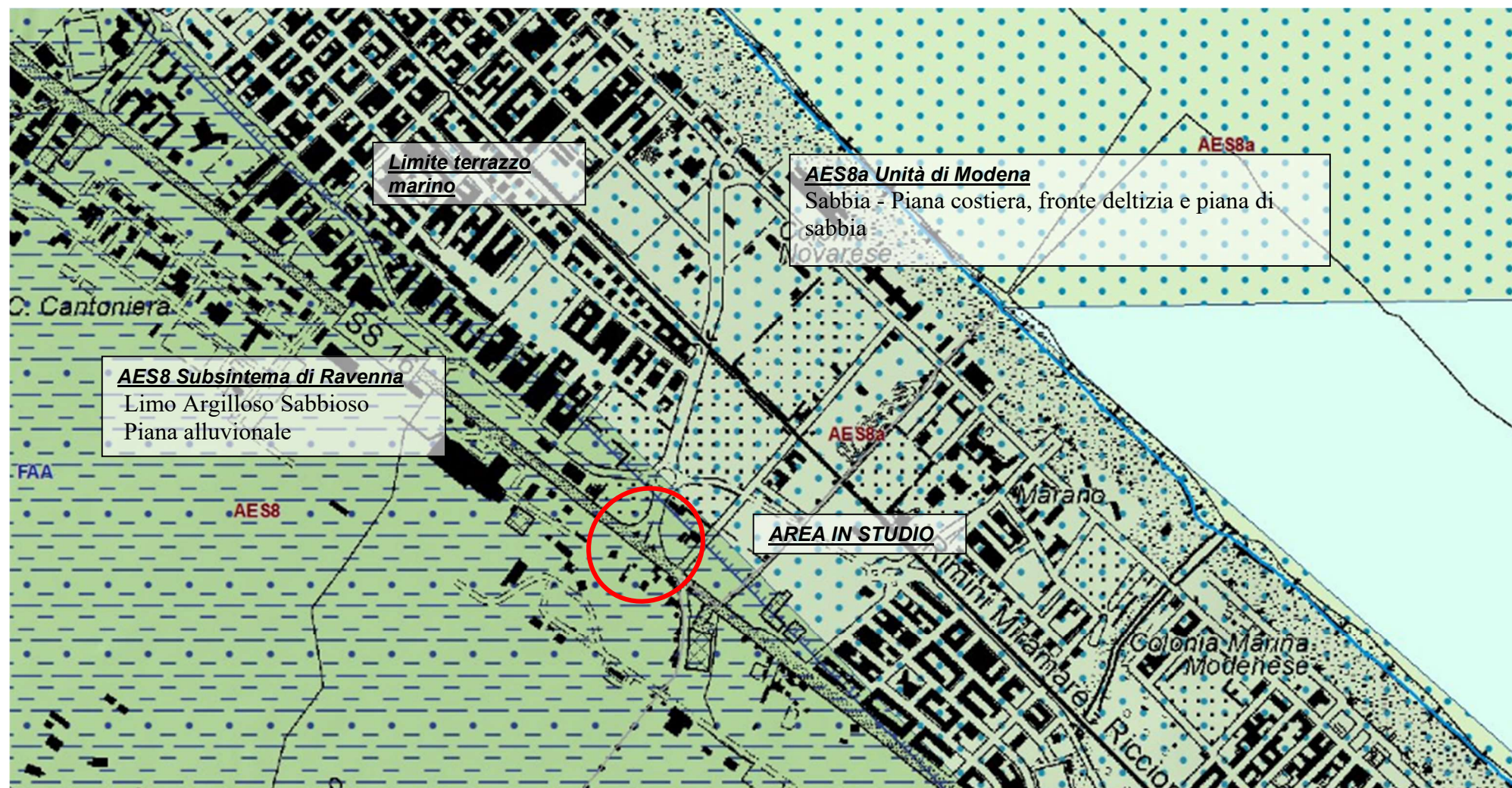


Figura 4 Carta Geologica RER (Sezione 256070 Torre Pedrera)



Un elemento geologico-geomorfologico di rilievo, cui si è accennato, è la presenza della separazione fra la pianura costiera e quella alluvionale che è marcata da una vistosa scarpata marina.

La pianura costiera, su cui si sviluppano gran parte delle frazioni del Comune di Rimini, si è originata al termine della trasgressione flandriana quando le acque marine si stabilizzarono approssimativamente ai livelli di oggi. In quella fase avvenne l'erosione di una falesia sulle alluvioni esistenti. Tale struttura geomorfologica è tuttora ben riconoscibile ed evidente tra Bellaria e Cattolica anche se nel tratto compreso fra la Città di Rimini e Rivazzurra è meno facilmente rilevabile. Gli apporti terrigeni rielaborati negli ambienti costieri diedero da allora origine alla fascia costiera costituita in larga percentuale da sabbie, limi e ghiaie, correlabili ad ambienti di spiaggia e foce fluviale. Al di sotto dei terreni prevalentemente sabbiosi di origine marina costiera, sono presenti terreni alluvionali. Le alluvioni sono costituite prevalentemente da sedimenti fini (argillosi, argillo-limosi, limo sabbiosi e sabbiosi) disposti ed avvicinati in livelli e strati che tipicamente hanno geometria lenticolare. Sporadicamente possono intercalarsi orizzonti ghiaiosi.

Stratigrafia

I depositi continentali vengono distinti formalmente, all'interno dell'unità stratigrafica detta Supersistema Emiliano-Romagnolo, in Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Ulteriori suddivisioni di questo ultimo (subsistemi) vengono indicate con Subsistema di Villa Verucchio (AES7), Subsistema di Ravenna (AES8) e Unità di Modena (AES8a)

Unità di Modena (AES8a)

"Sabbie di cordone litorale" Sono depositi essenzialmente sabbiosi a granulometria fine e media e buona cernita contenenti bioclasti di molluschi marini che, occasionalmente, sono particolarmente concentrati alla base del corpo sabbioso. Nelle zone dove il deposito supera gli 8-10 m di spessore (sondaggio 256-S6 di Cesenatico e 256110P507 del molo di Rimini) è caratterizzato da una sequenza negativa costituita da alternanze sabbioso-limose passanti, verso l'alto, a sabbie fini e medie con rare intercalazioni millimetriche di limo o di argilla organica o di sottili livelli di ghiaie fini. Il tetto della sequenza è affiorante ed è caratterizzato da sabbie molto ben classate e prive di matrice che non contengono bioclasti marini ed hanno colore giallo-bruno. Questa superficie di tetto è rilevata di circa 1,5-2 metri sul livello del mare ed è quasi completamente urbanizzata per cui non conserva quasi più le sue caratteristiche morfologiche originari. Le microfaune più comuni sono Ammonia spp., Elphidium spp., Miliolidae spp. e Textularidae spp., indicanti un ambiente francamente marino. Queste sabbie sono riferite a depositi di cordone litorale organizzati in una sequenza progradante da facies di spiaggia sommersa a battigia fino a dune di retrospiaggia nella porzione emersa affiorante. Esse costituiscono un corpo nastriforme (in pianta) che si ispessisce verso mare (spessori variabili da 4 a 12 m) ed è in contatto netto, alla base e lateralmente verso terra, a depositi di tracimazione fluviale e palustri. Verso NE il cordone prosegue nel settore sommerso dal Mare Adriatico per passare, gradualmente, a depositi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Localmente include depositi grossolani di barra di foce.

Subsistema di Ravenna (AES8)

Depositati alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. 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 sup. - Olocene)

Il Subsistema di Ravenna è un'unità superficiale, il cui tetto coincide spesso col piano di campagna ed ha uno spessore massimo dell'ordine di venti metri. Un ciclo trasgressivo-regressivo è all'origine della natura dei suoi depositi: ai depositi fini grigi, di tracimazione o palustri ricchi di sostanza organica, succedono depositi fini di tracimazione fluviale che passano da grigi a giallastri e quindi più decisamente ossidati verso l'alto. Ciò a indicare il passaggio paleogeografico fra piane fluviali poco drenate e stagnanti a piane ben drenate di una pianura in aggradazione con progressiva sovra-incisione del reticolo idrografico. Nel settore costiero questa evoluzione deposizionale è troncata dallo sviluppo del cordone sabbioso litorale. Nella pianura alluvionale sono presenti, in affioramento, argille, limi e limi sabbiosi, di tracimazione fluviale (piana inondabile, rotta, argine...).

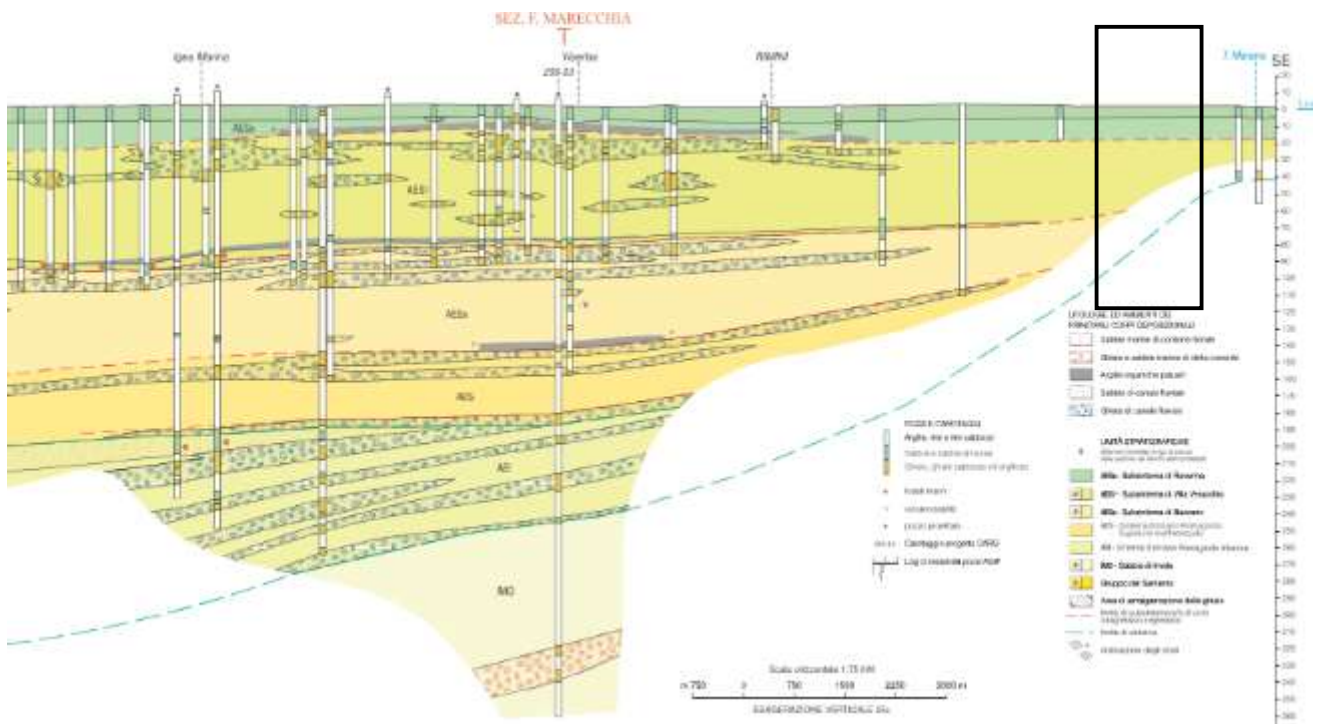
Subsistema di Villa Verucchio (AES7)

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale affioranti nei settori intravallivi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale prevalenti (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 10 per mille: Limite superiore dato da un suolo non calcareo spesso fino a 2 m di colore bruno scuro e bruno rossastro (7,5-5YR). Limite inferiore dato, in affioramento, da una superficie di erosione fluviale che incide AES6 ed i depositi marini preesistenti. Pleistocene medio-superiore

Il substrato marino, che talora può coincidere col bedrock sismico, è costituito da depositi marini costieri noti come Sabbie di Imola.

Sabbie di Imola (IMO) Arenarie e sabbie da medie a finissime, generalmente poco cementate, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati fra loro, con livelli di ghiaia contenente abbondanti ciottoli silicei. Stratificazione incrociata ad alto e basso angolo, piano- parallela e con strutture tipo hummocky. Sono presenti rare intercalazioni, centimetriche e decimetriche, di peliti, talora fortemente bioturbate, con locali laminazioni ondulate tipo ripples da onda. Nella parte alta, sono localmente presenti intercalazioni conglomeratiche a matrice sabbiosa (IMOa) con ciottoli derivanti da unità liguridi e dalla successione epiligure. Depositi di ambiente litorale. Limite inferiore discordante su SVG e SVGa. Limite superiore erosivo discordante con AES. Potenza massima affiorante circa 60m, superiore ai 150m nel sottosuolo. Pleistocene medio (0,8-0,65 MA)

Figura 5 Sezione Geologica Parallela alla Costa (Sez.059 RER)

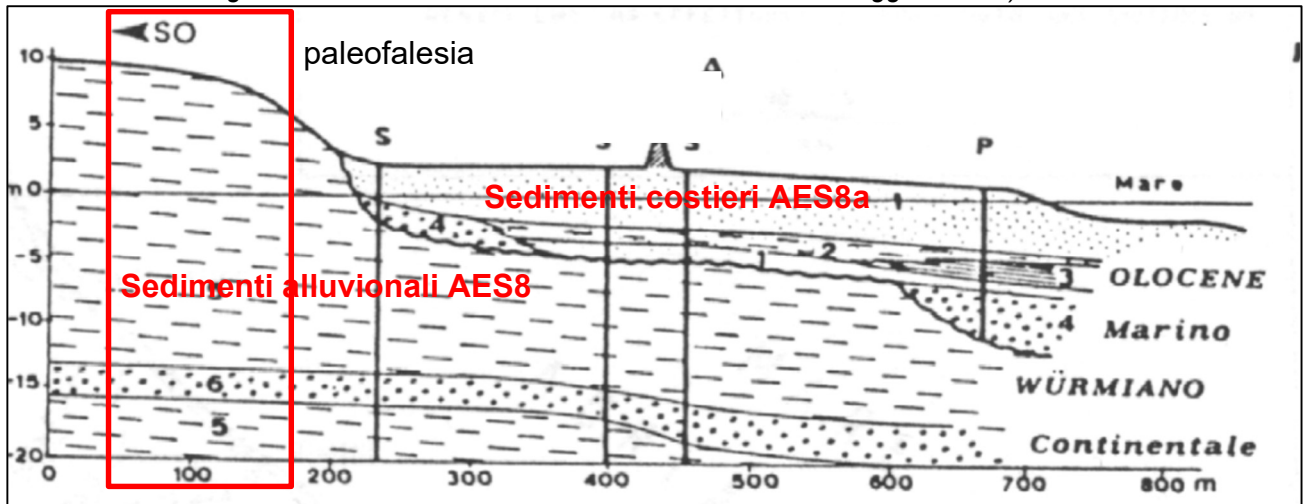


- | | |
|--|---|
| UNITÀ STRATIGRAFICHE
(Elementi proiettati lungo la traccia della sezione dai fianchi vallivi proiettati) | IMO - Sabbie di Imola |
| AES8 - Subsistema di Ravenna | Gruppo del Santerno |
| AES7 - Subsistema di Villa Verucchio | Area di amalgamazione delle ghiaie |
| AES6 - Subsistema di Bazzano | limite di subsistema e/o di ciclo trasgressivo-regressivo |
| AES - Sistema Emiliano Romagnolo Superiore indifferenziato | limite di sistema |
| AEI - Sistema Emiliano Romagnolo Inferiore | inclinazione degli strati |

L'area in studio, come accennato, giace sulla pianura alluvionale in adiacenza alla scarpata della paleofalesia; a monte della quale troviamo sedimenti alluvionali argillosi (AES8), verso valle

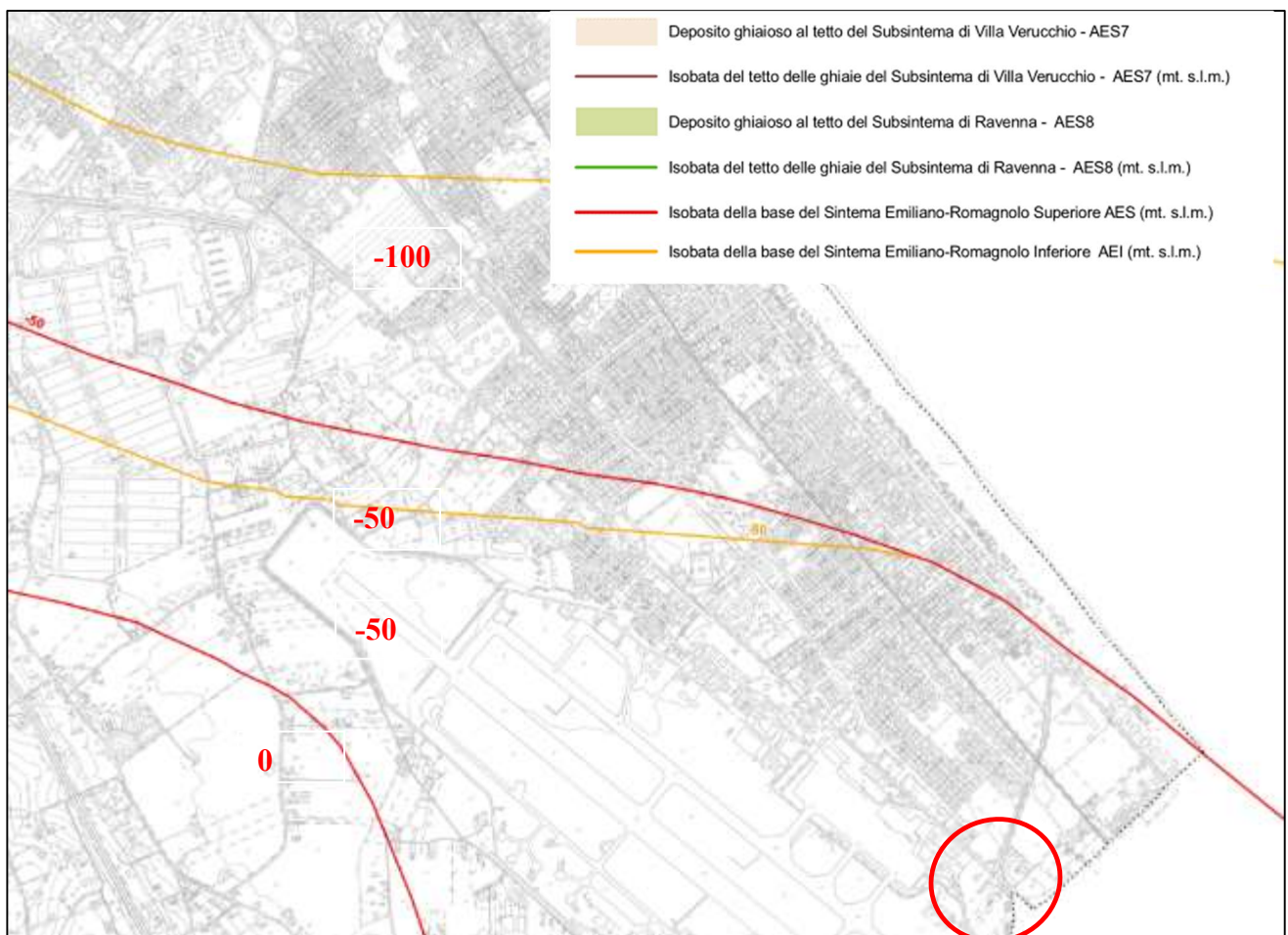
prevalentemente sabbiosi (AES8a) (fig.6).

Figura 6 Sezione geologica perpendicolare alla linea di costa. (tratto da "La Falesia morta e i depositi olocenici antistanti lungo la fascia costiera fra Cesenatico e Cattolica." A. Veggiani 1983)



La carta dello spessore delle coperture del PSC di Rimini (vedi fig.7) indica che la base del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) e del Sistema Emiliano Romagnolo (AEI) hanno una profondità inferiore a 50 metri (slm).

Figura 7 Carta dello Spessore delle Coperture del PSC



2.2 Idrogeologia

Il reticolo idrografico era costituito verso levante dal corso del Rio dell'Asse e più oltre dal torrente Rimini, Gennaio 2021

Marano, e a ponente dal Rio Roncassa il cui alveo è stato tombinato nelle zone urbanizzate.

Una certa difficoltà nel drenaggio delle acque di superficie è comune a molte aree costiere riminesi comprese fra il lungomare ed il rilevato ferroviario o più a monte il ciglio inferiore della paleofalesia (vedi fig.8).

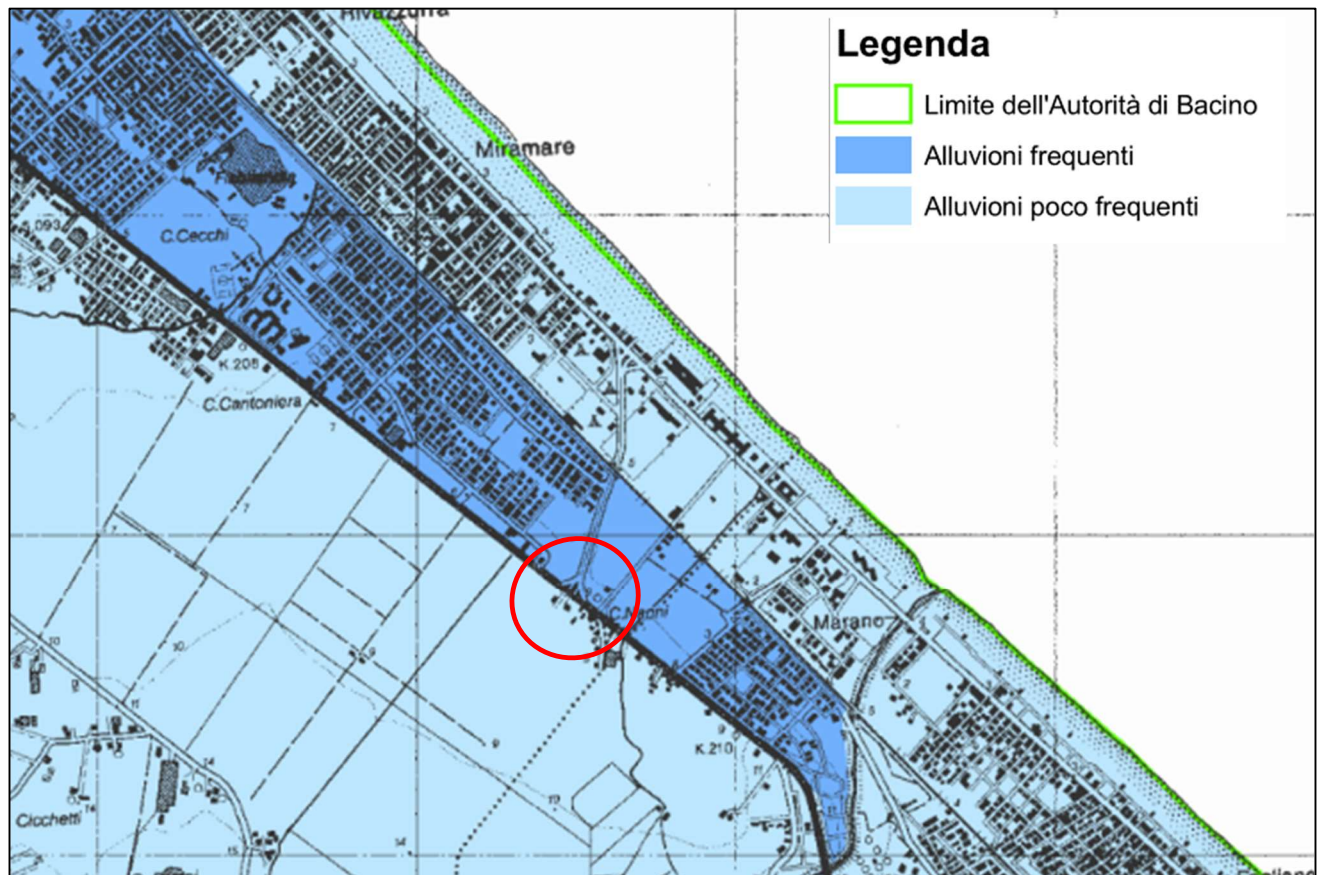
Nei terreni sabbiosi della piana costiera è presente, una falda freatica che si riscontra facilmente entro i primi 1-2 metri dal pc. I ristagni superficiali sono possibili in condizioni meteomarine avverse (prolungate e intense precipitazioni e burrasca con venti dominanti dai quadranti settentrionali).

Nei terreni argillosi la circolazione idrica è molto scarsa e limitata a eventuali livelli limo argillosi, tuttavia tali terreni risultano saturi fino alla prossimità del pc per gran parte dell'anno idrologico.

Si riportano in figura 8, lo stralcio della *Mappa della pericolosità per il reticolo secondario di pianura* (tav.5.3) del Progetto di Variante 2016 del Piano Stralcio di bacino per L'assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Se ne evince che le alluvioni legate al reticolo idrografico secondario sono possibili e frequenti nella zona a valle della SS16 e poco frequenti a monte della strada statale stessa.

Fig.8 Mappa della pericolosità per il reticolo secondario di pianura.



2.3 Modello geologico

Le NTC 2018 a proposito della progettazione geotecnica definiscono il “modello geologico” come l’insieme dei caratteri litologici, stratigrafici strutturali, idrogeologici, geomorfologici; la comprensione di questi elementi consente di valutare le criticità e la “pericolosità geologica del territorio”.

Nel caso in esame gli elementi fondamentali che possono sintetizzare, la situazione geologica-geomorfologica sono:

1) morfologia è pianeggiante, pur essendo presente il raccordo fra la pianura alluvionale “alta” e quella costiera “bassa” (si passa in circa 100/150 metri da poco meno di sette metri, ai due metri sul livello del mare)

2) la presenza di sedimenti di origine alluvionale prevalentemente pelitici (limi e argille) con elevati spessori complessivi (dell’ordine delle diverse decine di metri).

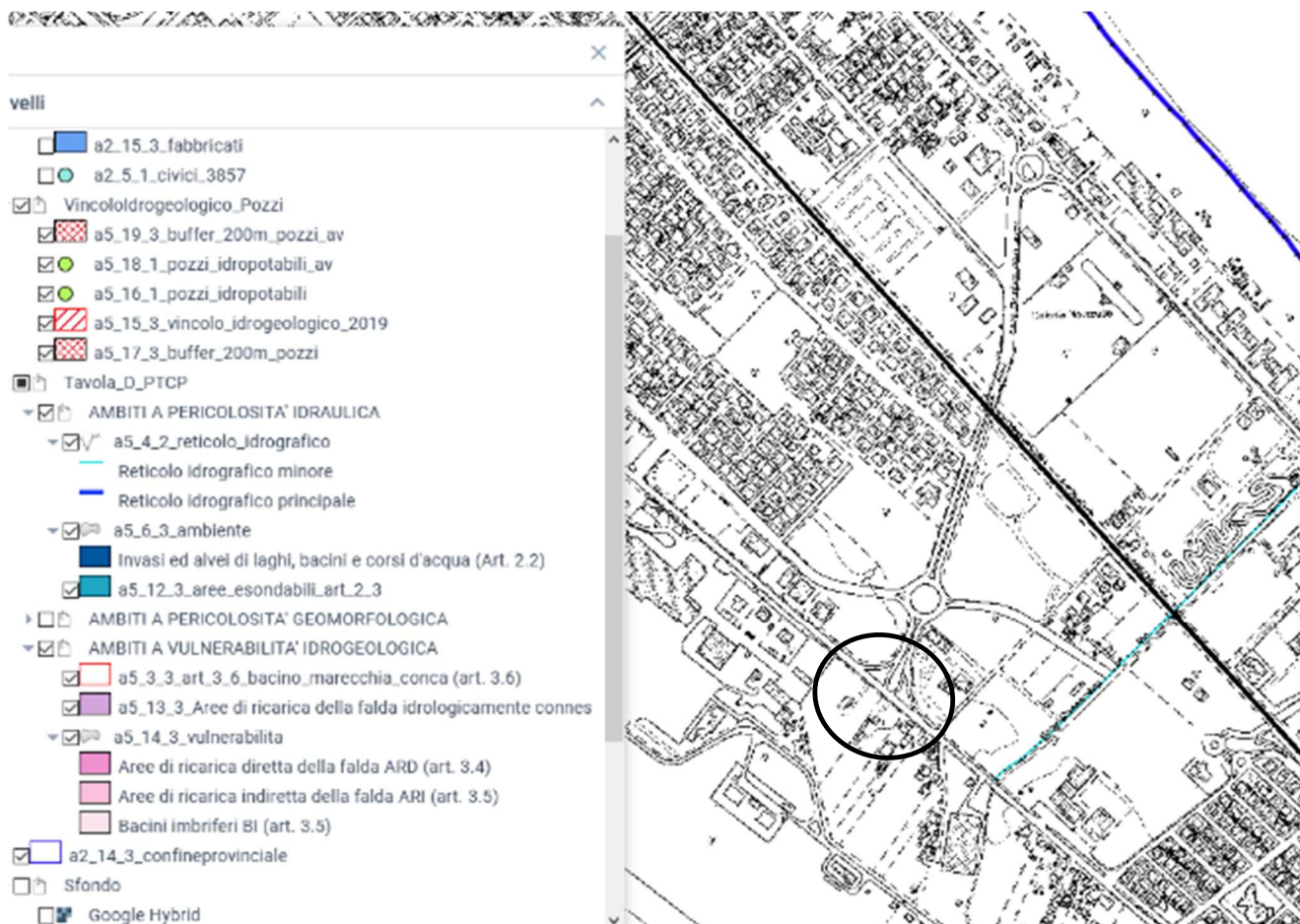
3) la presenza superficiale di acqua nel suolo (dell'ordine del metro dal pc)

4) la possibilità, indicata dal PAI, di allagamenti legati al reticolo idrografico secondario (*alluvioni poco frequenti*)

Un aspetto fondamentale relativo alla “*pericolosità geologica del territorio*” è la sismicità a cui è dedicato nel prosieguo un capitolo. Oltre alla intensità e ricorrenza degli eventi, il rischio sismico, deve essere correlato localmente a fenomeni di amplificazione locale. In assenza elementi topografici di rilievo (morfologia pianeggiante), l'eventuale amplificazione è legata agli effetti stratigrafici.

Dalla tavola D “Rischi ambientali” del PTCP della Provincia di Rimini non risultano vincoli relativi alla vulnerabilità idrogeologica

Figura 8 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali



3– INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'indagine geognostica, svolta da INTERGEO srl, consta di penetrometrie statiche con punta meccanica Begemann (CPT).

Si è impiegato un penetrometro da 20 tonnellate di spinta (Fig. 12, Pagani TG63/200).

L'indagine penetrometrica commissionata da Comune di Rimini consta di 7 CPT di cui tre (CPT3, CPT4 e CPT5) sull'area di interesse.

Lo studio si avvale anche delle indagini del database geognostico regionale, del PSC comunale e dell'archivio personale.

Dall'archivio RER:

- cinque penetrometrie stetiche (256160C075, C166, C159, C162, C172, E004)
- due sondaggi stratigrafici (256160P412, P438)
- indagini sismiche a stazione sismica (256160R014, R004)

Dal PSC del Comune di Rimini, sono tratti i risultati di indagini sismiche passive in array bidimensionale tipo ESAC (A10).

Indagini geognostiche seguite personalmente riguardano poi la pubblica scuola di via Pescara dove, nel Dicembre 2020, sono state realizzate CPTU, CPTS, HVSR, MASW, ESAC.

L'ubicazione delle prove è rappresentata nella figura 13 dove con CPT1 è indicata la penetrometria statica meccanica eseguita per il corrente studio (Gennaio 2021).

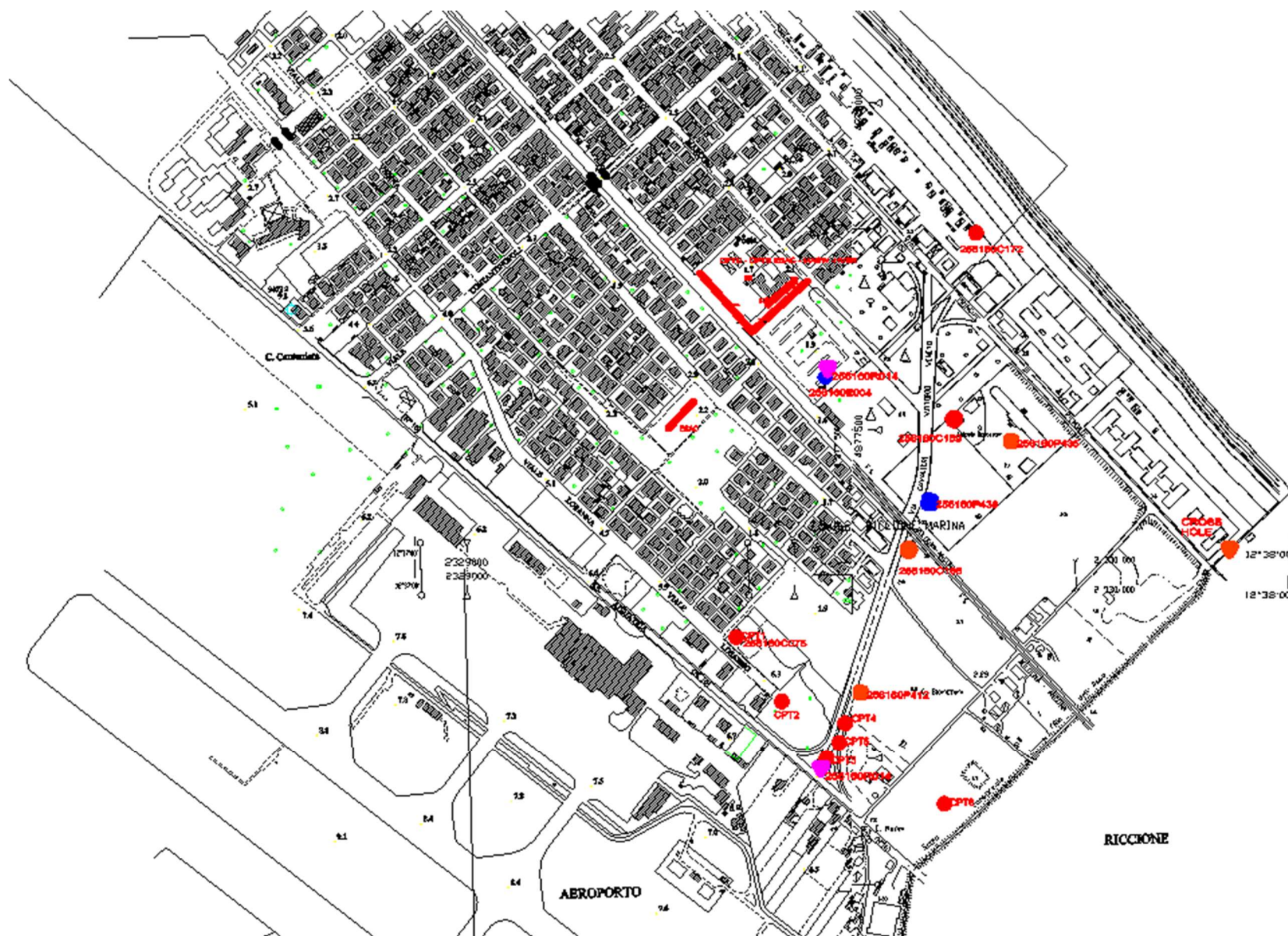
Figura 9 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso della prova

CPT3

CPT5



Figura 10 Planimetria con ubicazione delle indagini



3.1 Indagini penetrometriche

Le penetrometrie statiche offrono informazioni di buona qualità sulla consistenza e sulla litologia dei terreni; esiste inoltre una consolidata tradizione d'uso ed una estesa bibliografia relativa all'elaborazione dei dati.

L'esecuzione delle prove rispetta le modalità indicate dalle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana del 1977.

Le penetrometrie statiche (CPT) consistono nella misura della resistenza alla penetrazione della punta conica e del manicotto di cui è corredato il puntale. Tali misure permettono una buona distinzione della stratigrafia grazie ai metodi, ad esempio di Schmertmann o Robertson; questi consentono, con l'ausilio di appositi grafici o algoritmi, di distinguere le litologie dal rapporto fra resistenza alla penetrazione e attrito sul manicotto di frizione (vedi Fig. 14). Determinata la litologia è possibile risalire, grazie ad indicazioni di numerosi autori, ai parametri geotecnici dei terreni. Sul rapporto di prova vengono riportati i valori ed i grafici di Resistenza di Punta (Rp), Resistenza del manicotto (Rl), il rapporto delle due grandezze (FR), la litologia orientativa, alcuni parametri geotecnici (Φ , Dr, Cu) e dove significativo, è riportato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione. Il metodo di Robertson consente in oltre una stima della percentuale di fini presenti nel sedimento (passante al setaccio con apertura 0.0075 mm).

3.2 Correlazioni parametri geotecnici da penetrometrie statiche

I dati ottenuti con le penetrometrie sono utilizzabili per la determinazione delle litologie e l'attribuzione dei principali parametri geotecnici; tali correlazioni sono di larga diffusione e proposte da numerosi Autori (Begemann, Michtell & Gardner, Sanglerat, Schmertmann, Robertson...).

Per questo studio si fa riferimento alle correlazioni proposte rispettivamente da Schmertmann, relativamente alla litologia, e da Begeman, per il valore della coesione non drenata, necessaria per classificare sommariamente i terreni anche sulla base della consistenza.

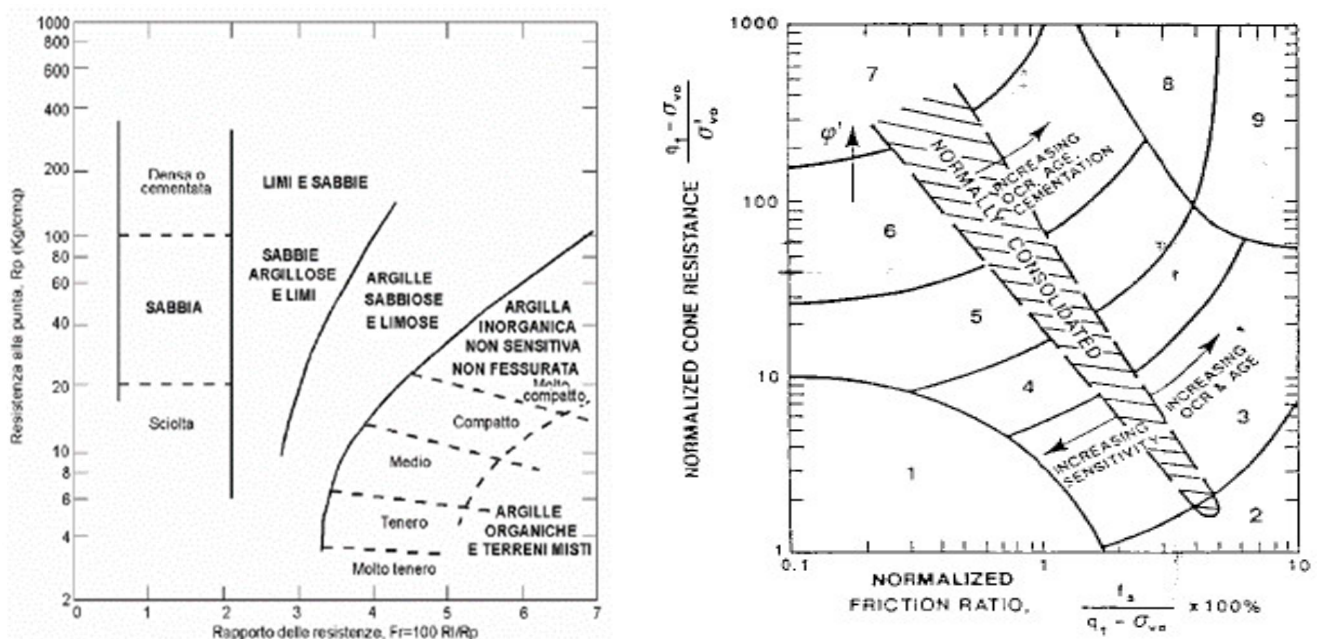
Schmertmann e Robertson

Il grafico Schmertmann (fig.14) ha sugli assi la Resistenza Punta Rp e Rapporto di Frizione Fr (percentuale della Resistenza di attrito su Resistenza di punta); analogamente quello di Robertson (calibrato su prove con punta elettrica (CPTe)) riporta la resistenza alla punta normalizzata Q e il rapporto fra le resistenze normalizzate F, che vengono calcolati con le seguenti equazioni:

$$Q = (R_p - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$$

$$F = 100 (R_l / (R_p - \sigma_{vo}))$$

Figura 11 Grafici per l'interpretazione della litologia da prove CPT (Schmertmann e di Robertson)



Robertson introduce l'indice di comportamento I_c

$$I_c = ((3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2)^{1/2}$$

L'indice di comportamento consente di identificare il tipo di terreno adottando la tabella seguente

I_c	Area grafico Robertson	Litologia
< 1.31	7	Sabbie ghiaiose e sabbie addensate
1.31 ÷ 2.05	6	Sabbie da pulite a limose
2.05 ÷ 2.60	5	Sabbie limose e/o limi sabbiosi
2.60 ÷ 2.95	4	Limi argillosi e/o argille limose
2.95 ÷ 3.60	3	Argille
> 3.60	2	Suoli Organici

L'indice I_c può essere anche relazionato alla percentuale di fini del sedimento (F_c) con la relazione:

$$F_c (\%) = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7$$

Correlazioni relative ai terreni coesivi

Sono di largo impiego, fra le altre, correlazioni fra Resistenza alla punta R_p , Resistenza d'attrito R_l e la coesione non drenata C_u , il modulo edometrico E_d , il rapporto di sovraconsolidazione OCR.

Coesione non drenata (C_u)

$$\text{Begemann: } C_u = (R_p - \sigma_v) / N_c$$

dove σ_v è la pressione litostatica alla profondità di misura della R_p ed $N_c = 13,4$; più cautelativamente o in ragione delle litologie, può essere adottato N_c compreso fra 15 e 25.

3.2 Rilievo del livello di falda

La stima dei livelli di falda avviene in prima approssimazione con il rilievo nei fori di sondaggio, quindi con successive misurazioni nei piezometri, in eventuali pozzi e/o da ricerche dati bibliografici. L'istallazione di piezometri e le verifiche successive per la valutazione delle oscillazioni del livello freatico richiedono tempi relativamente lunghi (almeno un ciclo idrologico annuale) quindi difficilmente conciliabili con le fasi progettuali.

Nel corso dell'indagine, svolta nell' Gennaio 2021, si è riscontrata acqua nei fori delle penetrometrie CPT3,4,e,5 a profondità variabile fra i 3.0 e 3.3 metri dal pc.

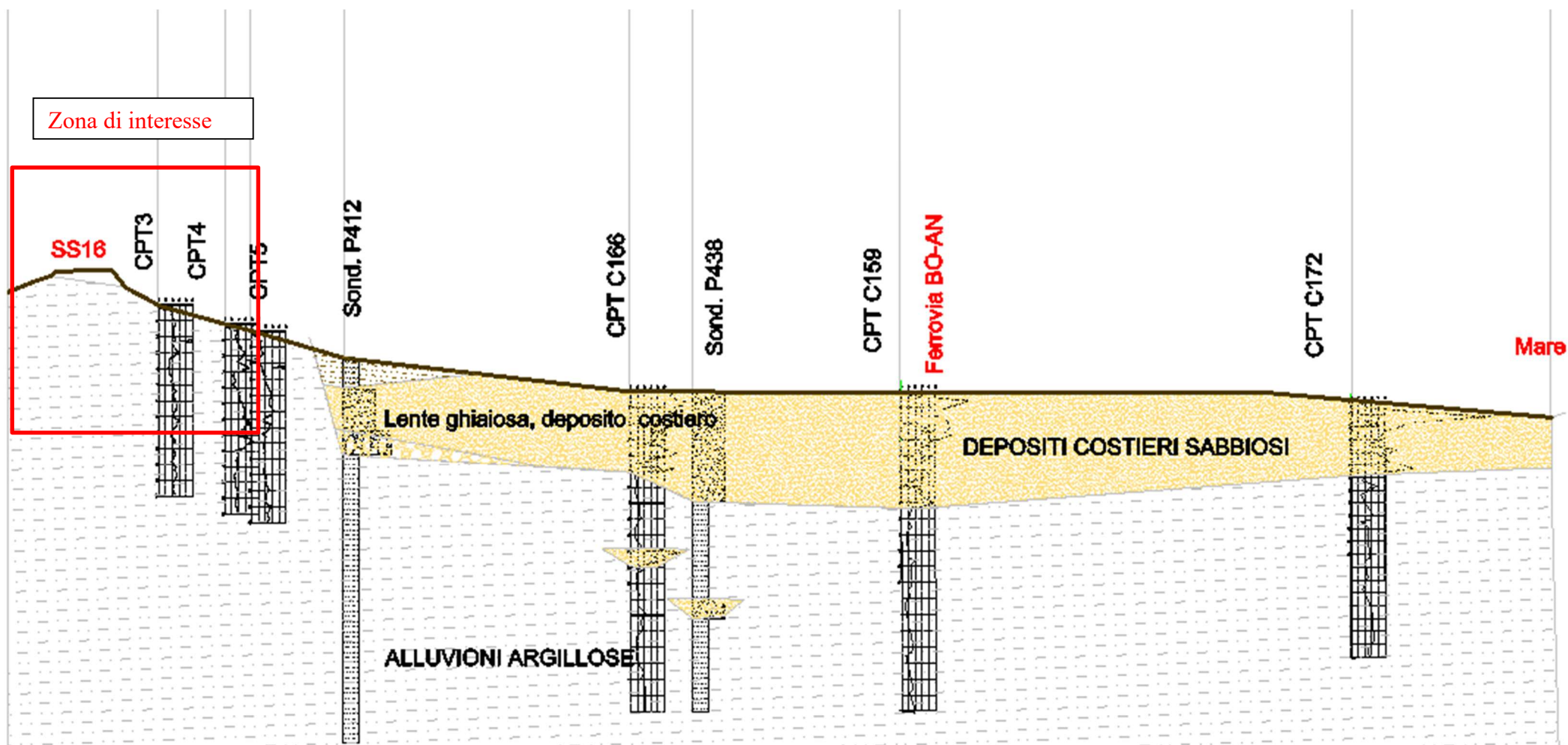
Nei periodi umidi dell'anno idrologico si rinviene facilmente l'acqua a profondità inferiori al metro e ristagni idrici prossimi alla superficie sono possibili in relazione ad intense precipitazioni o accumuli nevosi; questi, seppure abbiano carattere transitorio, devono essere debitamente tenuti in conto nelle scelte progettuali e nella gestione delle fasi di cantiere.

4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

La stratigrafia del sottosuolo è stata ricostruita sulla base delle considerazioni di carattere geologico e dagli esiti delle indagini in sito.

Nell'intorno dell'area di interesse sono presenti due modelli stratigrafici distinti, il primo a monte dell'orlo inferiore della paleofalesia è caratterizzato dalla presenza di terreni di origine alluvionale prevalentemente argillosi, il secondo a valle della paleofalesia, è caratterizzato dalla presenza di una coltre di sedimenti costieri prevalentemente sabbiosi, che sovrastano le alluvioni stesse (vedi sezione stratigrafica fig.12).

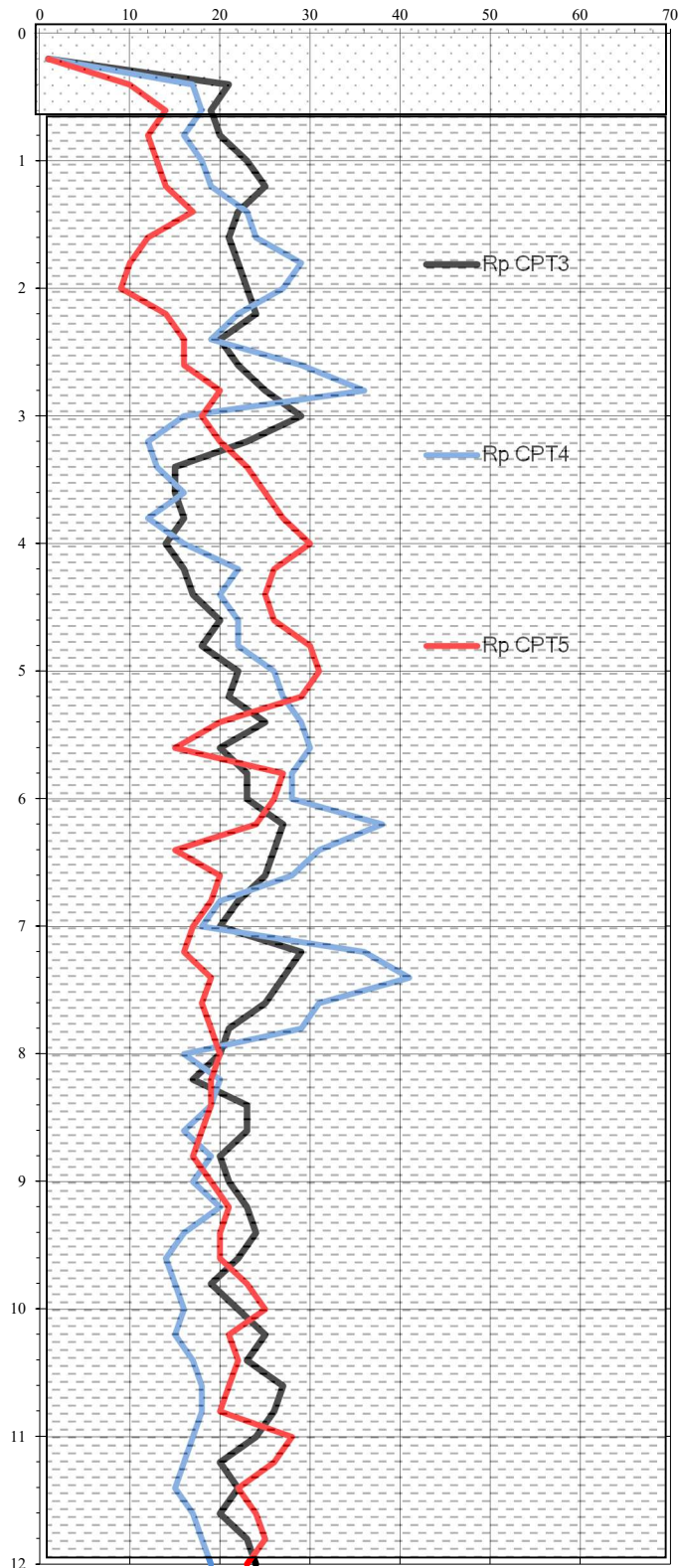
Figura 12 Sezione stratigrafica schematica (Scala Verticale esagerata 1:100)



Relativamente alla zona di specifico interesse, adiacente alla Strada Statale Adriatica n.16, la stratigrafia può essere desunta dalle prove penetrometriche eseguite (CPT3,4 e 5); da queste risulta evidente che consistenza e tessitura sono piuttosto omogenee, nei primi metri di profondità si discosta leggermente per consistenza la CPT5 che risulta comunque al margine dell'opera in progetto.

Nella figura 14 il grafico i valori della resistenza di punta.

Figura 13 Profilo penetrometrico, Resistenza di Punta



A Riporto, suolo rimaneggiato

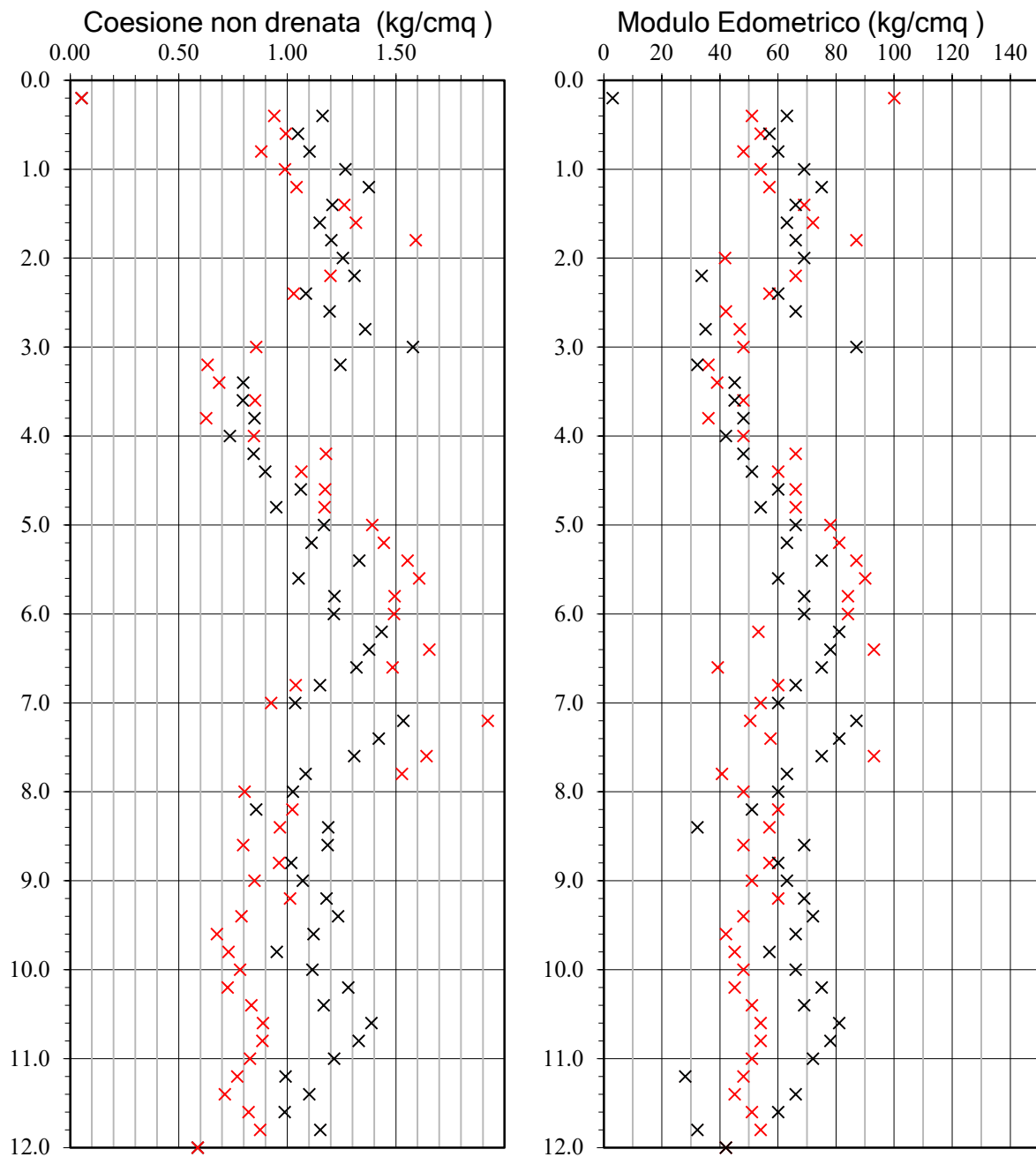
B Argille e argille limose da mediamente compatte a compatte con livelli limosi

Tablelle di riepilogo della Stratigrafia e dei Parametri Geotecnici
CPT3-CPT4

Prof.		escrizione	Rp	γ	Cu	ϕ' (deBeer)	Ed
m			Kg/cm ²	g/cm ³	Kg/cm ²	°	Kg/cm ²
A	0.0 0.6	Riporto, suolo rimaneggiato	17-18	-	-	-	-
B	0.6 12.0	Argille e argille limose da mediamente compatte a compatte con livelli limosi	21 12-31	1.8-1.9	1.1 0.7-1.7	-	59 28-93

γ = Peso di Volume; Rp Resistenza Punta; Cu=Coesione non drenata; γ = Peso di volume ϕ' =Angolo di attrito; Ed=Modulo edometrico.

Figura 14 Andamento dei principali parametri geotecnici



4.2 Risultati delle indagini geofisiche consultate

Non sono state eseguite nuove indagini geofisiche ma, come accennato, si sono consultate quelle disponibili sul PSC comunale e nell'archivio personale e nel database regionale. Il fine di tali indagini è quello di definire il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) per determinare il parametro V_{seq} così come descritto dalla normativa vigente.

Le curve di dispersione ed profili H/V dei rilievi citati mostrano infatti andamenti del tutto simili rendendo accettabile considerare per il sito in studio i valori di V_{seq} stimati nel corso delle precedenti indagini (vedi fig. 15).

Figura 15 Ubicazione indagini, Curve di dispersione degli array bidimensionali



La velocità delle onde di taglio V_s può essere altresì stimata, in accordo con le NTC 2018, attraverso correlazioni basate sui risultati delle prove in sito e nello specifico dalle penetrometrie statiche. Una correlazione che trova discreta corrispondenza con i dati rilevati in ambito locale è quella proposta da Madiati, (2006) studiata con dati derivati anche dall'area riminese (2006 Prof. Ing. Claudia Madiati Studio di correlazioni regionali per la stima della velocità delle onde sismiche di taglio a partire dalla misura di parametri geotecnici desunti da prove in sito e in laboratorio di tipo corrente. università di firenze dipartimento di ingegneria civile – sezione geotecnica).

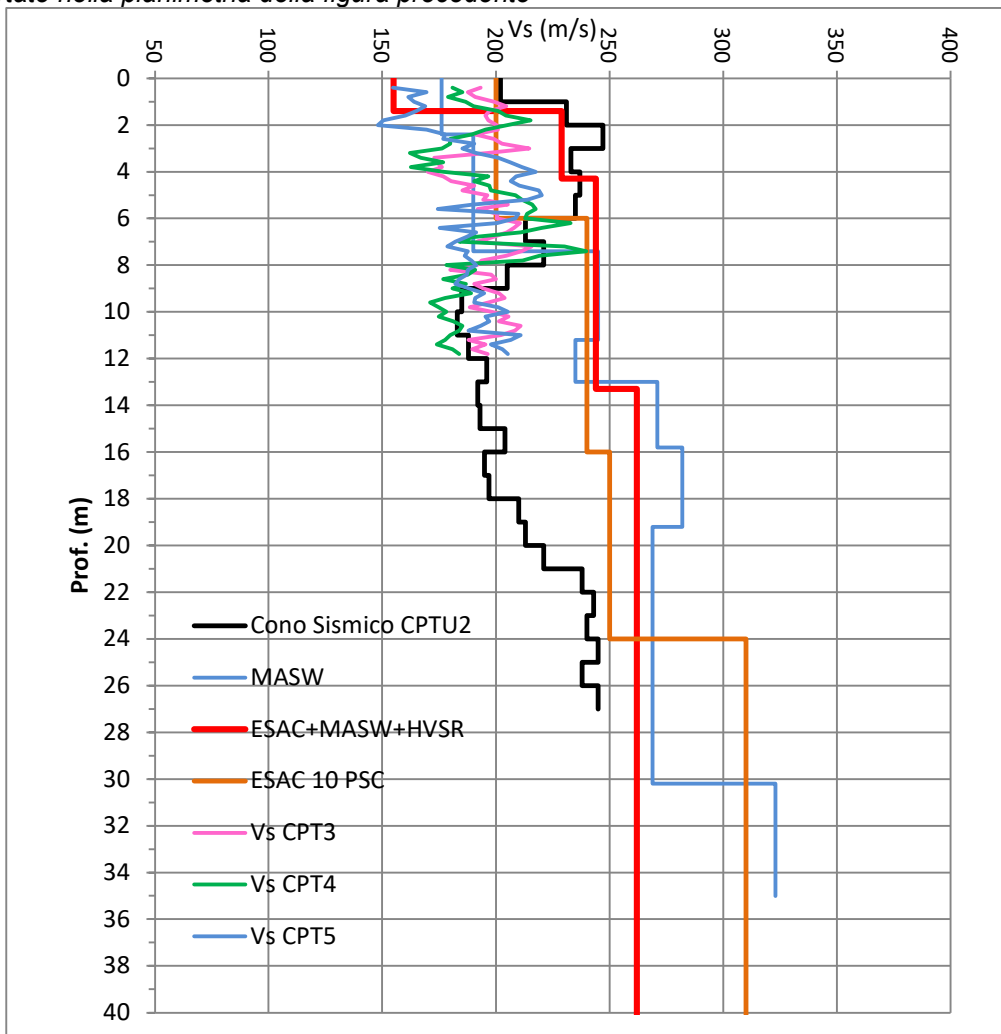
La relazione fra la V_s e le misure penetrometriche, valida per i terreni coesivi è la seguente:

$$V_s = A \cdot R_p^a \cdot f_s^b$$

Dove R_p =Resistenza di punta in MPa, f_s =Resistenza di attrito laterale in Mpa, $A=170$ $a=0.029$; $b=0.036$

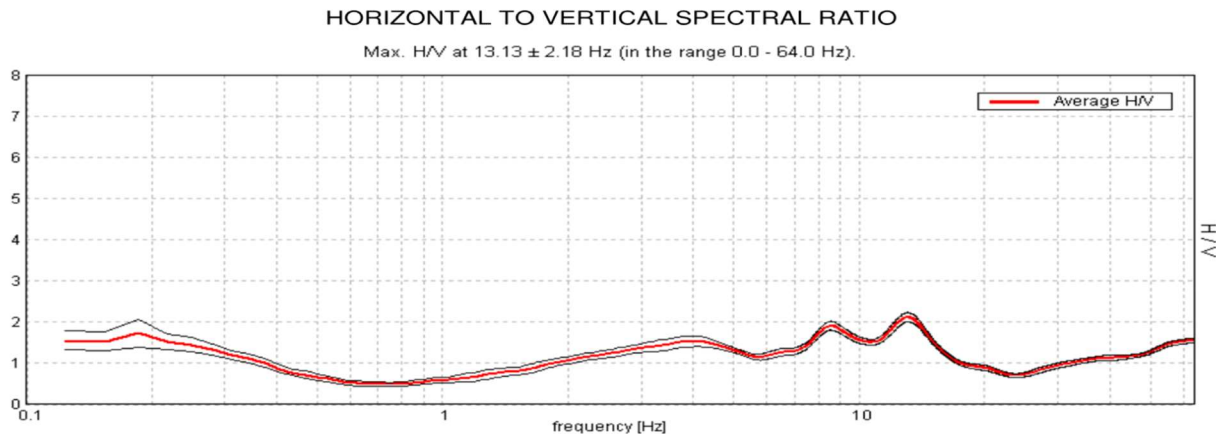
Sfruttando questa correlazione si ottiene un valore medio di Vs relativo ai primi 12 metri di sottosuolo pari a 194 m/s; tale valore risulta coerente con le misure dirette e indirette ottenute coi metodi geofisici relativamente ai terreni alluvionali argillosi (vedi grafico di figura 16)

Figura 16 Profilo Vs tratto dalle indagini del PSC, dalle CPT con formule empiriche, e dalle indagini disponibili e riportate nella planimetria della figura precedente



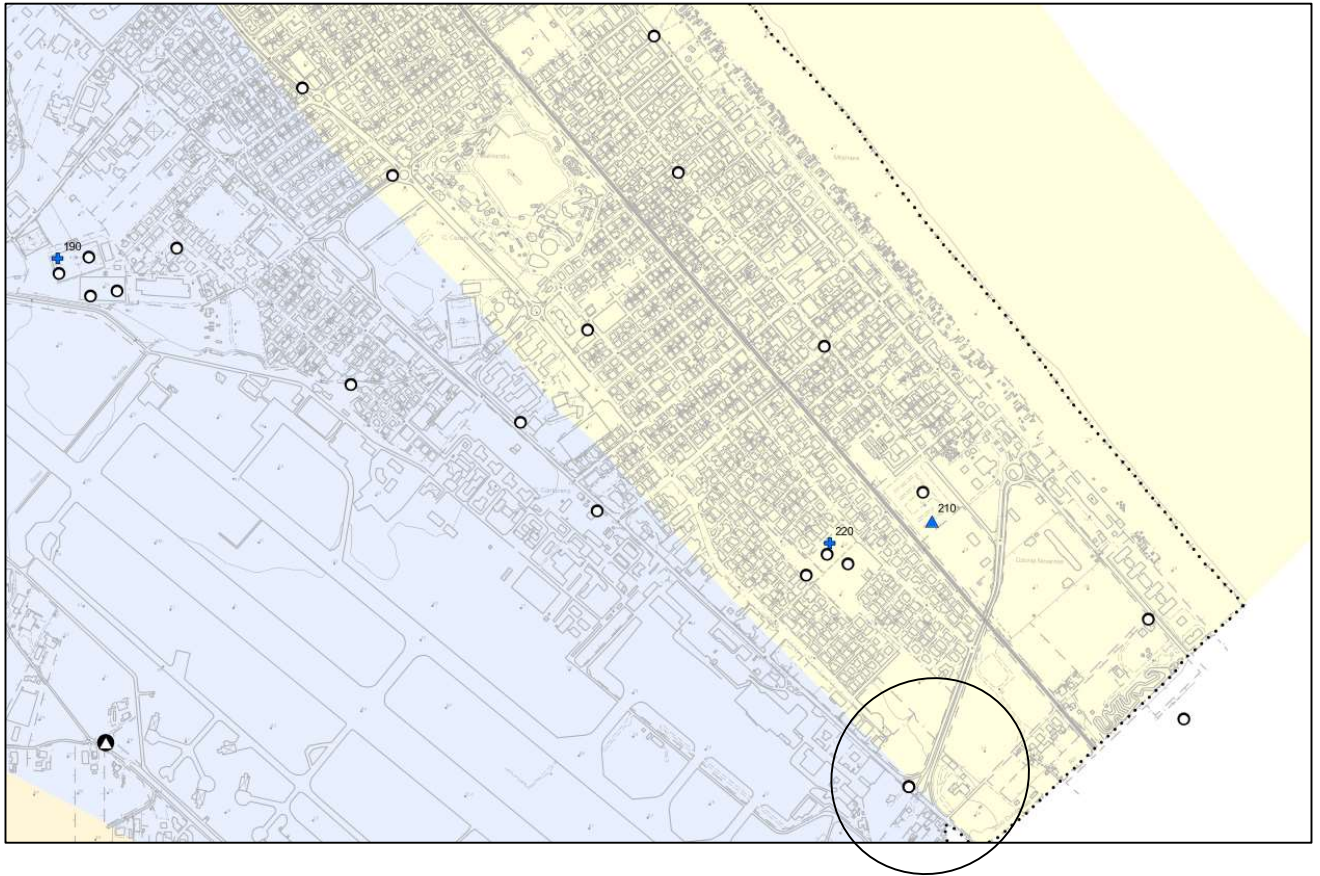
Il rilievo HVSr tratto dal database regionale (256160R014) mostra ondulazioni della curva H/V a cui difficilmente si trova un riscontro in termini stratigrafici e quindi di contrasti di impedenza sismica. La curva H/V sembra piuttosto influenzata dal rumore di fondo derivato dal traffico veicolare sulla Strada Statale n.16

Figura 17 Spettri H/V



La Carta della velocità delle onde di taglio V_{seq} del PSC Comune di Rimini indica valori di pari a 190 m/s nella zona "alluvionale" e di circa 210-220 m/s in quella "costiera" (Fig.17).

Figura 18 PSC Comune di Rimini Carta della velocità delle onde di taglio (Tav. B.16b)



Ambiti di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007

- Ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 1)
- Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec
- Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2)
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino affiorante caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.

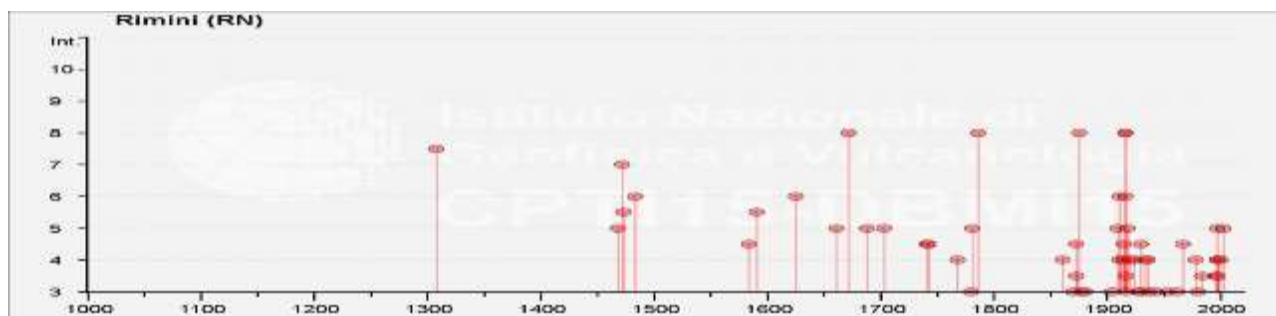
5 – RISCHIO SISMICO

5.1 Sismicità dell'area

Il territorio della provincia di Rimini ha subito importanti terremoti che, anche in base a rilievi macrosismici (non basati cioè su rilievi strumentali ma sullo studio degli effetti dei terremoti stessi), sono stati ordinati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (consultabile al sito dell'INGV). L'istogramma e la tabella che seguono sono un estratto del database dell'INGV DBM15, con i terremoti risentiti nell'area di Rimini con intensità Mercalli Cancani Sieberg all'epicentro pari almeno al 6° grado.

L'istogramma di figura 20 e la tabella che segue testimoniano una ricca storia sismica con ben 78 eventi registrati in epoca storica

Figura 19 Iistogramma degli eventi sismici



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
 Seismic history of Rimini PlaceID: IT_41984
 Coordinates (lat, lon) 44.059, 12.568 No. of reported earthquakes 78

Intensità al sito	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io Intensità Epicentrale Scala MCS	Magnitudo Momento Mw
7-8	1308 01 25 17 15	Rimini	7-8	5.33
7	1472	Rimini	7	5.1
5-6	1473 02 02	Rimini	5-6	4.4
6	1483 08 11 19 40	Romagna	8	5.69
5-6	1591 07 10	Romagna	6-7	5.13
6	1625 12 05	Rimini	6	4.63
8	1672 04 14 15 45	Riminense	8	5.59
8	1786 12 25 01	Riminense	8	5.66
8	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	8	5.74
6	1911 03 26 13 51	Riminense	5	5.04
8	1916 05 17 12 50	Riminense	8	5.82
6	1916 06 16 01 27	Riminense	6	4.82
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminense	8	5.82

(File downloaded from CPTI15 - DBMI15) Fonte dati DBT115: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lollì B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

5.2 Magnitudo di riferimento

L'INGV ha prodotto la zonazione sismogenetica del territorio nazionale (ZS9) includendo l'area in studio nella zona sismogenetica 917; si tratta della porzione esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, caratterizzata da terremoti con meccanismi focali di tipo thrust e strike-slip con assi SW-NE.

Relativamente a tale zona sono stati individuati due valori di Magnitudo Momento Mw:

- Mwmax= 6,1; per opere ordinarie e calibrato cautelativamente su dati geologici e sismologici
- Mwmax= 6,14; maggiormente cautelativo, (Vedi "Indicazioni e criteri per la Microzonazione Sismica" a cura del Dipartimento Nazionale Protezione Civile, 2008 (definito per la progettazione di opere di particolare importanza).

5.3– Microzonazione Sismica

Si è osservato che la variabilità dei danni e degli effetti che i terremoti provocano è molto elevata, e spesso correlabile a condizioni locali sfavorevoli dei siti e dei terreni.

I fattori geomorfologici, stratigrafici e geotecnici (*condizioni locali*) possono modificare, talora amplificandolo, il moto sismico nella propagazione dalla roccia di substrato (bedrock) alla superficie.

Lo studio delle caratteristiche geologiche, la campagna geognostica con le prospezioni geofisiche, consentono di definire le *condizioni locali*, e quindi di indagare gli *effetti di sito*; in altri termini di quantificare la modificazione delle caratteristiche dello scuotimento sismico nella propagazione verso la superficie (*amplificazione sismica*).

Oltre ai fenomeni di amplificazione sismica vi possono essere *effetti locali* che dipendono dalle caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche del sito. I terremoti infatti, possono indurre ad esempio, frane e crolli, addensamento di terreni soffici, liquefazione dei terreni sabbiosi.

Per la valutazione degli effetti di sito (amplificazione sismica) e degli effetti locali (liquefazione e cedimenti post-sismici) si fa riferimento all'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (D.A.L. 112/2007) che è stato successivamente aggiornato dalla DGR 2193 del 21/12/2015 ed dalla DGR 630 del 29/04/2019.

Il PSC del Comune di Rimini fa riferimento al D.A.L. 112/2007

La microzonazione sismica, per l'indirizzo regionale, prevede due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento, che brevemente, possono essere così descritti:

Prima fase (*individuazione delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali*)

La prima fase di analisi è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ...)

Seconda fase (*microzonazione sismica del territorio indagato*) *Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento: a) un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) e b) una analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), come di seguito specificato:*

- *Secondo livello di approfondimento (analisi semplificata) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso abachi e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;*
- *Terzo livello di approfondimento è invece richiesta per la definizione di indici di rischio negli areali che presentano le caratteristiche elencate al successivo paragrafo 2.1, lettera c), specificamente individuati dalla cartografia della pericolosità sismica locale predisposta dai piani di area vasta e recepita nel quadro conoscitivo dei piani urbanistici comunali (vedere Allegato A1).*
- *è invece richiesta per la definizione di indici di rischio nei seguenti casi (vedere Allegato A1): - - - analisi con diversi livelli di si identificano due fasi di aree soggette a liquefazione e densificazione; aree instabili e potenzialmente instabili; aree con rapida variazione della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali.*

Nell'ambito della pianificazione si può escludere quindi il *Terzo Livello di approfondimento* qualora qualora non sussistano particolari condizioni di rischio che sono specificate al Punto 2.1 del al Punto 4.2 del DGR .630 del 30/04/2019 ed analogamente al DAL112.

Punto 2.1 DGR 630 :

- a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione;
- b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree con rapide variazioni della profondità del bedrock, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

Punto 4.2 dell'Atto di Indirizzo 112/2007:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Relativamente ai punti alle lettere a),b) e c), le considerazioni (valide per entrambe le versioni dell'atto di indirizzo tecnico) sono le seguenti:

Lettera a) i terreni del sottosuolo sono sostanzialmente argillosi e quindi non soggetti a rischio liquefazione/densificazione.

Lettera b) l'area di interesse è pianeggiante e quindi non sussistono problemi di stabilità

Lettera c) i versanti vallivi sono distanti dall'area in esame ed il substrato della copertura alluvionale digrada dolcemente verso valle; lo spessore dei sedimenti continentali è dell'ordine delle centinaia di metri ed alla luce delle indagini penetrometriche ed in base agli approfondimenti geofisici, si può ipotizzare che il modello geologico sia assimilabile ad un *modello fisico monodimensionale*.

Per quanto concerne il punto della Lettera dell'Atto 112, la rilevanza dal punto di vista dell'interesse pubblico dell'opera da realizzare dovrà essere verificata in sede di pianificazione urbanistica e di progettazione e non è negli ambiti di competenza dello scrivente

Per quanto concerne il punto lettera D del DGR 630, Si esclude che l'area in esame ricada fra quelle dove possono essere riscontrati effetti differenziali legati al contatto laterale fra litotipi diversi e con importanti differenze fra le caratteristiche fisico meccaniche, alla presenza di cavità sepolte o ancora con faglie attive e capaci. In merito a questo ultimo punto si è consultato l'archivio informatico disponibile alla pagina dedicata del sito dell'ISPRA (<http://sgj2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>). Indicativamente, nella zona di interesse, vengono segnalati sovrascorrimenti profondi (thrust) appartenenti all'Arco Romagnolo-Ferrarese. Si tratta quindi strutture che non inducono effetti locali ma che viceversa hanno rilevanza regionale (vedi fig.20) (L'effetto locale che distingue una faglia capace da una ordinaria è la "capacità" di indurre in superficie deformazioni permanenti o meglio secondo il glossario della Protezione Civile: "Faglia attiva ritenuta in grado di produrre fagliazione in superficie cioè la dislocazione istantanea – cosismica – verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio")

Alla luce di queste considerazioni è quindi possibile adottare un secondo livello di approfondimento della risposta sismica locale.

Figura 20 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci In rosso i sovrascorrimenti profondi appartenenti Sistema Comacchio-Ravenna, nome faglia Rimini - Ravenna (93798)



L'analisi di secondo livello è contenuta nel PSC del Comune di Rimini a cui quindi si fa riferimento per la determinazione dei fattori di amplificazione (F.A.) dell'accelerazione sismica. In figura 21 la tavola della microzonazione con le indicazioni della PGA.

Nella suddetta carta tematica l'Ambito costiero, definito dalla linea azzurra, è esteso fino alla Strada Statale n.16; in realtà l'area costiera con le sabbie superficiali, ha il suo confine diverse decine di metri più a mare. Questo è evidente sia dalla carta geologica (fig.4), sia dalle penetrometrie statiche eseguite nell'ambito del presente lavoro e finalizzate anche ad uno studio, tutt'ora in corso, per la definizione proprio del margine della paleofalesia. Tale struttura morfologica marca appunto il passaggio fra pianura alluvionale e costiera.

In base a queste considerazioni si può ritenere che l'Ambito territoriale di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007 e richiamato dal PSC nella figura seguente, sia quello relativo alla "PIANURA 2" (definito dalla linea rossa):

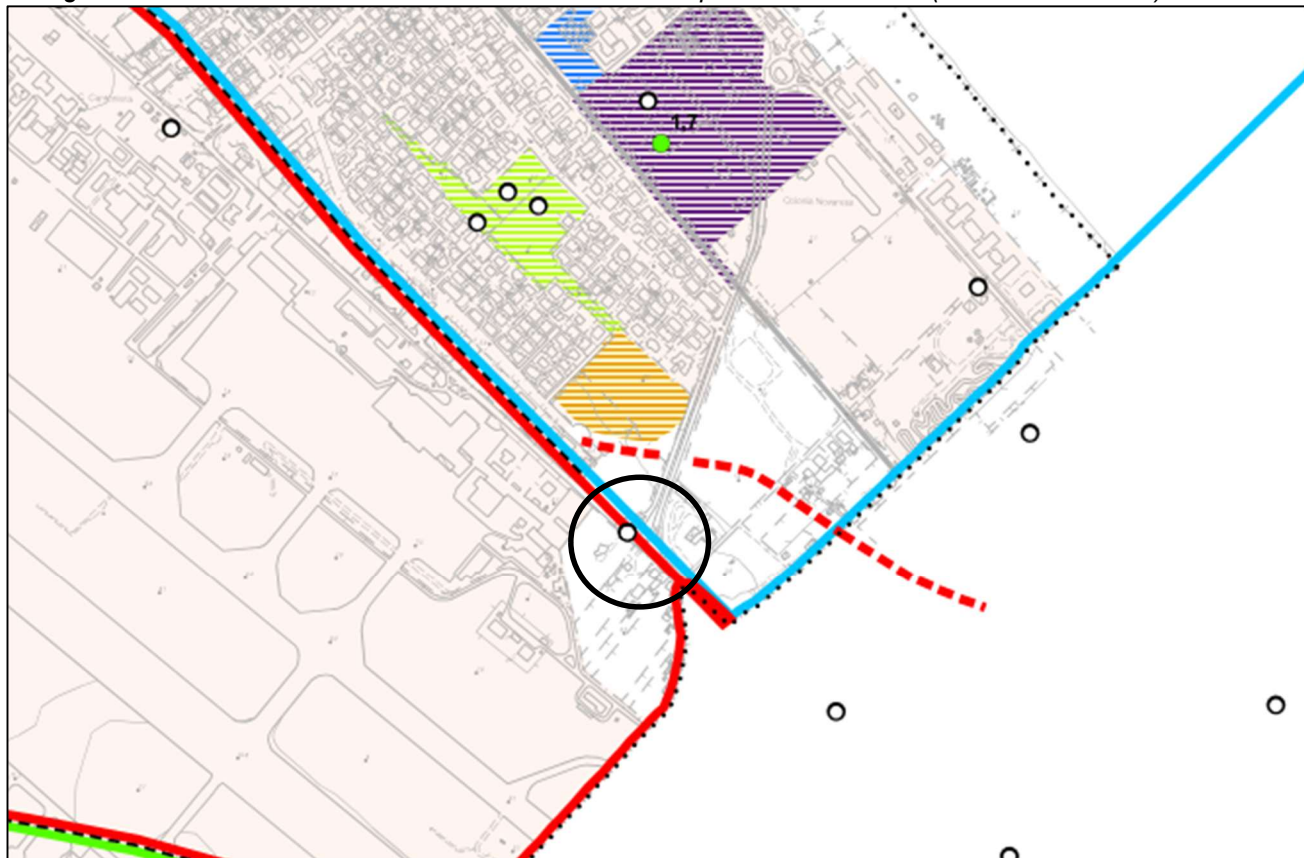
"ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaia (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) - riferimento a (PIANURA 2);"

Relativamente all' All.2, punto A2.1.1 dell' A.112, la Tavola Carta degli Ambiti Sismici Omogenei (tav.B.14b), indica possibili fenomeni di amplificazione per frequenze inferiori ad un Hz.

Le tabelle di riferimento dell'Atto di indirizzo A112 con i fattori di amplificazione, sono riportate in figura 23.

L'aggiornamento dell'atto di indirizzo regionale è frutto dell'evoluzione delle conoscenze ha portato alla rielaborazione delle tabelle di riferimento per le analisi di secondo livello di approfondimento della microzonazione sismica che sono riportate nelle figure successive. Le tabelle relative al DGR n.630 sono riportate in figura 24.

Figura 21 Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione di PGA (tavola PSC.1.3.2b)



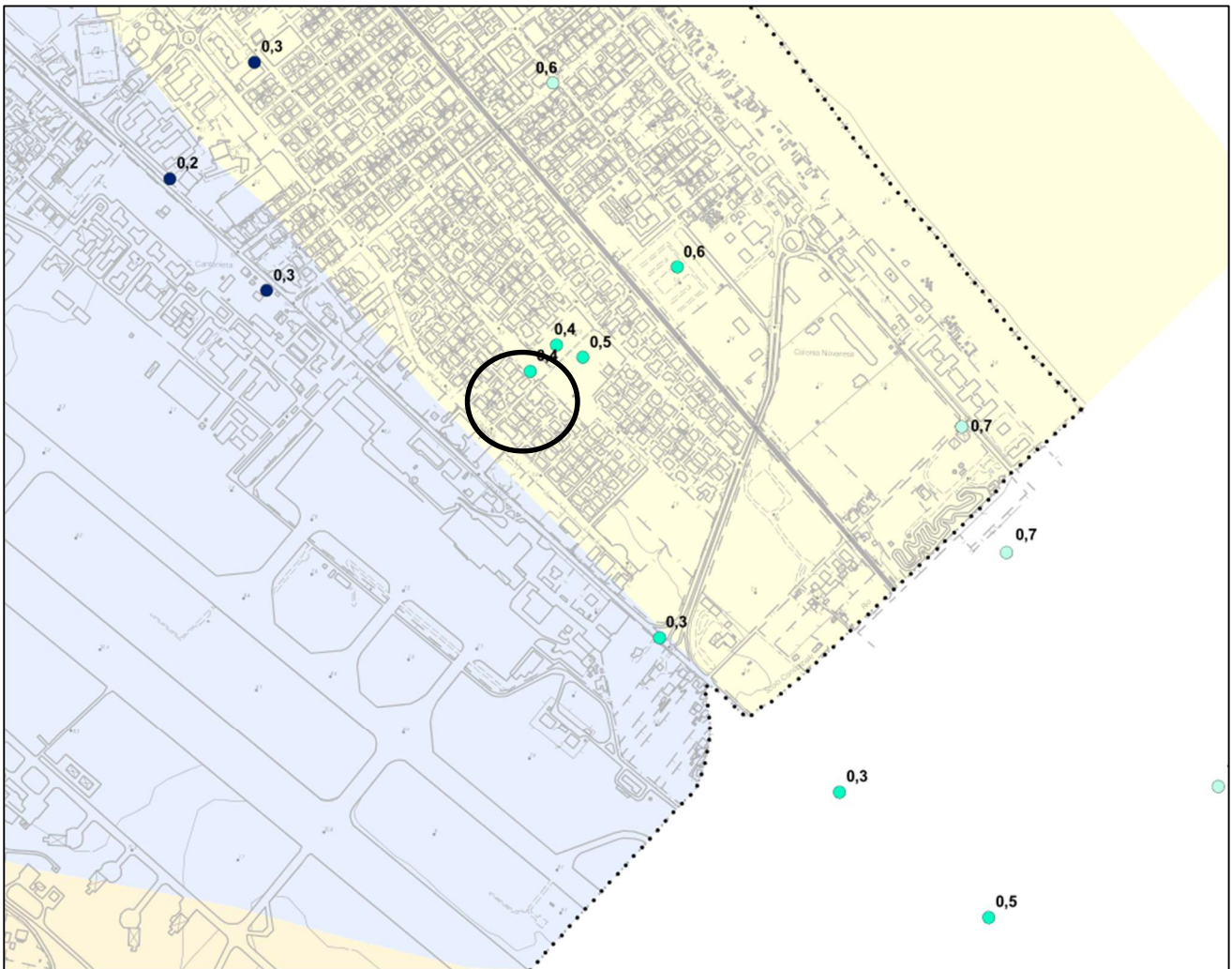
Ambiti territoriali di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007

- Ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 1)
- Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da Vs<800 m/sec
- Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2)
- Appennino e margine appenninico padano per coperture su substrato marino caratterizzato da Vs minore di 800 m/sec
- Appennino e margine appenninico padano per coperture su substrato marino affiorante caratterizzato da Vs minore di 800 m/sec

Fattori di amplificazione (F.A.) della PGA

- Bassa amplificazione - F.A. da 1,4 a 1,7
- Media amplificazione - F.A. da 1,8 a 2,0
- Alta amplificazione - F.A. da 2,1 a 2,3
- Elevata amplificazione - F.A. da 2,4 a 2,6
- F.A. non determinato

Figura 22 PSC Stralcio della Carta degli Ambiti Sismici Omogenei -B.14b -



LEGENDA

Misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola HVSR

- Picchi di risonanza con frequenze comprese tra 0 - 0,30 Hz
- Picchi di risonanza con frequenze comprese tra 0,30 - 0,60 Hz
- Picchi di risonanza con frequenze comprese tra 0,60 - 1 Hz
- Nessun picco compreso tra 0 - 1 Hz
- Non interpretabile

Ambiti di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007

- Ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 1)
- Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec
- Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2)
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino affiorante caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.

Figura 23 D.A.L.112/2007, Tabelle All.2, punto A2.1.1 (Substrato marino profondo >100 dal pc-)

PIANURA 2: In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Figura 24 DGR 630 Tabelle All.2 punto A2.1.2

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

In sintesi facendo riferimento alle tabelle del DAL 112 e del DGR n.630 (fig.24) considerando la colonna con $V_s=200$ m/s

DAL 112

F.A. P.G.A. = 1.5

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 1.8 per $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s}$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 2.5 per $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,0 \text{ s}$

DGR n.630

F.A. P.G.A. = 1.7

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 1.8 per $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s}$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 2.7 per $0,4 \text{ s} < T_0 < 0,8 \text{ s}$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 3.3 per $0,7 \text{ s} < T_0 < 1,1 \text{ s}$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 3.3 per $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,5 \text{ s}$

5.3 Azione Sismica

L'accelerazione orizzontale massima (o di picco) al suolo rigido (suolo di categoria A, affiorante), al periodo $T=0$, è riportata nella tabella 2 dell'allegato A4 dell'Atto di Indirizzo più volte citato (DAL112). Per il Comune di Rimini il valore di riferimento è:

$$\text{arefg (PGA}_0\text{)} = 0.183 \text{ g}$$

L'accelerazione massima (A_{gmax}) attesa al suolo libero (al periodo $T=0$) si ottiene applicando il Fattore di Amplificazione FA precedentemente ricavato, ad A_g (corrispondente a PGA_0)

Quindi per Stato Limite Salvaguardia della Vita (SLV) si ottiene:

$$\text{D.A.L. 112 } \text{PGA} = A_{max} = \text{PGA}_0 \times \text{FA} = 0.183 \times 1.5 = 0.275 \text{ g}$$

$$\text{DGR N.630 } \text{PGA} = A_{max} = \text{PGA}_0 \times \text{FA} = 0.183 \times 1.7 = 0.311 \text{ g}$$

5.4 Effetti locali: Liquefazione dei Terreni Sabbiosi e Cedimenti indotti dal sisma

Liquefazione

Per liquefazione si intende il fenomeno di riduzione od annullamento di resistenza al taglio, che può avvenire in caso di forti sollecitazioni cicliche (sisma) nei terreni a prevalente granulometria sabbiosa, in falda. La perdita di resistenza, che si manifesta come fluidificazione dei terreni, è dovuta all'aumento progressivo delle pressioni interstiziali che giungono a contrastare o ad eguagliare la pressione di confinamento.

Nel caso in esame, in coerenza con le evidenze di tipo geologico, le indagini hanno messo in luce la presenza di alluvioni prevalentemente argillose o limo argillose a comportamento francamente coesivo e quindi non suscettibili di liquefazione

Cedimenti indotti dal sisma nei terreni coesivi soffici

I cedimenti postsismici possono manifestarsi nei sedimenti coesivi soffici ($C_u < 70$ kPa -0.7 kg/cm³; $V_s < 180$ m/s), con Indice Plastico $IP > 30\%$ e in cui si sviluppino sovrappressioni interstiziali nel corso dell'azione sismica $ru = \Delta u / \sigma'_o \geq 0.3$.

La stima della C_u si è adottata la relazione di Beghemann; $C_u = (R_p - \sigma_v) / N_c$; ai fini geotecnici è stato adottato cautelativamente $N_c = 18$ anziché $N_c = 13.4$ come suggerito dall'autore. Ciò ovviamente genera valori di coesione non drenata inferiori; nonostante questo dai dati delle penetrometrie si ricavano valori medi di C_u di circa 1.1 kg/cm³ ben superiori alla soglia di 0.7 kg/cm³ sopra richiamata.

7 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI

Il progetto prevede la realizzazione di una rotonda all'intersezione fra la via Cavalieri di Vittrio veneto e la Strada Statale n°16 Adriatica.

I terreni presenti hanno caratteristiche geotecniche sufficienti a garantire la stabilità delle fondazioni di strutture ordinarie.

Per la progettazione della struttura stradale si suggerisce, qualora non siano già disponibili dati, l'esecuzione di prove di piastra e di classificazione del terreno in posto (granulometrie, limiti di Atterberg, umidità naturale..).

8 – CONCLUSIONI

- Dall'analisi degli *aspetti geologici, geomorfologici e geotecnici* esaminati nel presente lavoro non sono emersi elementi sfavorevoli alla realizzazione del progetto. Il lotto in esame giace sulla pianura alluvionale sub-orizzontale.
- Il sottosuolo è formato da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, argille e argille limose, di medie caratteristiche geotecniche.
- Nel corso dell'indagine, svolta nell' Gennaio 2021, si è riscontrata acqua nei fori delle penetrometrie CPT3,4,e,5 a profondità variabile fra i 3.0 e 3.3 metri dal pc. Stagionalmente o in concomitanza dei periodi piovosi il livello idrico può facilmente innalzarsi fino in prossimità del piano di campagna; di ciò si deve tenere conto nelle scelte progettuali e nella gestione delle fasi di scavo.
- Il PAI annovera l'area a valle della SS16 fra quelle a rischio di alluvioni frequenti, e l'area a monte della SS16 a rischio di alluvioni poco frequenti.
- Le indagini eseguite hanno consentito di definire la stratigrafia di interesse ai fini progettuali. I terreni hanno caratteristiche geotecniche da medie a discrete.
- I rilievi geofisici disponibili indicano che il valore della velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} , è generalmente dell'ordine di 200 m/s e quindi il sottosuolo è compatibile con un Sottosuolo di Categoria C.
- *La microzonazione sismica di secondo livello del PSC del Comune di Rimini (ammessa dal DGR 630 30/04/2019) consente di ricavare i valori del Fattore di Intensità Spettrale e del Fattore di Amplificazione (FA). Quest'ultimo parametro è fondamentale per attribuire il valore di PGA da adottare nelle verifiche di liquefazione. Nel caso in esame si è adottato un $FA = 1.7$ da cui scaturisce una $PGA = 0.311 g$.*
- I terreni del sottosuolo essendo di natura prevalentemente argillosa e coesiva non sono soggetti al fenomeno della liquefazione, e in relazione alla loro consistenza non sono attesi cedimenti postsimici.

Allegato 1

PROVA PENETROMETRICA CPT

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT CON PUNTA MECCANICA BEGEMANN

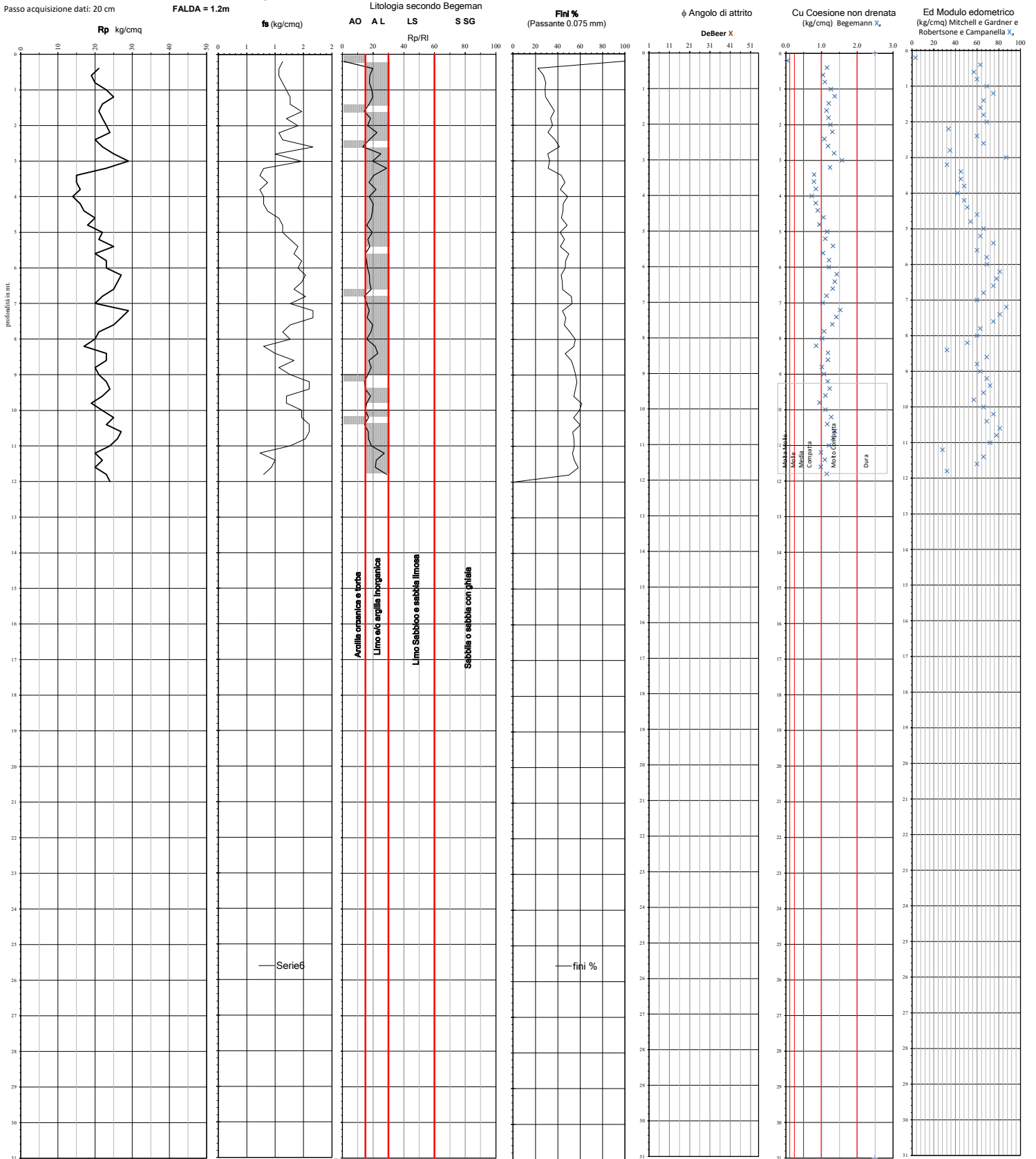
Prova CPT3

Località: MIRAMARE ROTONDA SS16 VIA CAV

Data: Gennaio 2021

Lavoro: 0 Falda non rilevata su questa verticale

Passo acquisizione dati: 20 cm FALDA = 1.2m



mt.	Rp (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Fr (%)	Peso di Volume (Robertson e Cabal et al. 2010)	Angolo di attrito φ° ("De Beer")	Densità relativa Dr Lancellotta 1993	Cu Kg/cmq Coesione non drenata (Begemann)	Modulo di Young -Schmertmann- per sabbie E=2.5 Rp (kg/cm2)	Modulo edometrico Sanglerat, Mitchell&Gardner o Robertson e Campanella per le sabbie (ka/cm2)	Nspt -Indicativo- Mauromachi e Kubayashi 1982 %fini	OCR Mayne 2012 OCR=0.33*(Rp-sv)^m con m=1+0.72	% fini Roberts on	FS Liq.	Litologia SCHMERTMANN
0.20		1.1	113	1.8			0.1	3		0	18	100	ZL	Ara. Ora. terre Miste
0.40	21	1.1	5	1.9			1.2	63		5	27	22	ZL	Ara. Compatte
0.60	19	1.1	5	1.9			1.1	57		5	15	27	ZL	Ara. Compatte
0.80	20	1.1	5	1.9			1.1	60		5	11	29	ZL	Ara. Compatte
1.00	23	1.2	5	1.9			1.3	69		6	9	29	ZL	Ara. Molto Compatte
1.20	25	1.3	5	1.9			1.4	75		7	8	29	nl	Ara. Molto Compatte
1.40	22	1.3	5	1.9			1.2	66		6	8	33	35.3	Ara. Molto Compatte
1.60	21	1.5	7	1.9			1.2	63		6	8	37	57.3	Ara. Compatte
1.80	22	1.2	5	1.9			1.2	66		6	5	34	34.8	Ara. Molto Compatte
2.00	23	1.4	5	1.9			1.3	69		6	4	35	42.1	Ara. Molto Compatte
2.20	24	1.1	4	1.9			1.3	34		6	4	31	22.6	Araille Sabbiose e Limose
2.40	20	1.1	4	1.9			1.1	60		6	4	37	51.8	Ara. Compatte
2.60	22	1.7	8	2.0			1.2	66		6	5	41	0	
2.80	25	1.0	4	1.9			1.4	35		7	5	31	20.5	Araille Sabbiose e Limose
3.00	29	1.5	5	2.0			1.6	87		8	3	33	26.1	Ara. Molto Compatte
3.20	23	0.8	3	1.9			1.2	32		6	3	31	20.8	Araille Sabbiose e Limose
3.40	15	0.7	5	1.8			0.8	45		4	3	43	nl	Ara. Mediamente Tenera
3.60	15	0.9	5	1.9			0.8	45		4	3	46	nl	Ara. Mediamente Tenera
3.80	16	0.7	5	1.8			0.8	48		5	3	42	nl	Ara. Compatte
4.00	14	0.8	5	1.9			0.7	42		4	3	49	nl	Ara. Mediamente Tenera
4.20	16	0.8	5	1.9			0.8	48		5	3	45	nl	Ara. Compatte
4.40	17	0.9	5	1.9			0.9	51		5	3	45	nl	Ara. Compatte
4.60	20	1.1	5	1.9			1.1	66		6	3	43	nl	Ara. Compatte
4.80	18	1.1	5	1.9			1.0	54		5	3	48	nl	Ara. Compatte
5.00	22	1.1	5	1.9			1.2	66		6	3	42	nl	Ara. Molto Compatte
5.20	21	1.3	6	1.9			1.1	63		6	2	46	nl	Ara. Compatte
5.40	25	1.4	6	1.9			1.3	75		7	2	42	nl	Ara. Molto Compatte
5.60	20	1.3	7	1.9			1.1	60		6	2	50	nl	Ara. Compatte
5.80	23	1.5	6	1.9			1.2	69		7	2	47	nl	Ara. Molto Compatte
6.00	23	1.4	6	1.9			1.2	69		7	2	47	nl	Ara. Molto Compatte
6.20	27	1.5	6	2.0			1.4	81		8	2	43	nl	Ara. Molto Compatte
6.40	26	1.5	6	1.9			1.4	78		7	2	44	nl	Ara. Molto Compatte
6.60	25	1.3	5	1.9			1.3	75		7	2	44	nl	Ara. Molto Compatte
6.80	22	1.5	7	1.9			1.2	66		7	2	52	nl	Ara. Molto Compatte
7.00	20	1.3	6	1.9			1.0	60		6	2	53	nl	Ara. Compatte
7.20	29	1.7	6	2.0			1.5	87		8	2	44	nl	Ara. Molto Compatte
7.40	27	1.7	6	2.0			1.4	81		8	2	47	nl	Ara. Molto Compatte
7.60	25	1.3	5	1.9			1.3	75		7	2	46	nl	Ara. Molto Compatte
7.80	21	1.1	5	1.9			1.1	63		6	1	51	nl	Ara. Compatte
8.00	20	1.3	6	1.9			1.0	60		6	2	56	nl	Ara. Compatte
8.20	17	0.8	5	1.9			0.9	51		5	1	54	nl	Ara. Compatte
8.40	23	1.0	4	1.9			1.2	32		7	1	47	nl	Araille Sabbiose e Limose
8.60	23	1.3	6	1.9			1.2	69		7	1	52	nl	Ara. Molto Compatte
8.80	20	1.1	5	1.9			1.0	60		6	1	54	nl	Ara. Compatte
9.00	21	1.3	6	1.9			1.1	63		6	2	56	nl	Ara. Compatte
9.20	23	1.6	7	2.0			1.2	69		7	2	57	nl	Ara. Molto Compatte
9.40	24	1.6	7	2.0			1.2	72		7	2	56	nl	Ara. Molto Compatte
9.60	22	1.2	5	1.9			1.1	66		7	1	54	nl	Ara. Molto Compatte
9.80	19	1.2	6	1.9			1.0	57		6	1	61	nl	Ara. Compatte
10.00	22	1.5	7	1.9			1.1	66		6	2	59	nl	Ara. Molto Compatte
10.20	25	1.5	6	1.9			1.3	75		8	1	54	nl	Ara. Molto Compatte
10.40	23	1.6	7	2.0			1.2	69		7	2	60	nl	Ara. Molto Compatte
10.60	27	1.6	6	2.0			1.4	81		8	1	53	nl	Ara. Molto Compatte
10.80	26	1.5	6	2.0			1.3	78		8	1	54	nl	Ara. Molto Compatte
11.00	24	1.3	5	1.9			1.2	72		7	1	55	nl	Ara. Molto Compatte
11.20	20	0.7	4	1.9			1.0	28		6	1	53	nl	Araille Sabbiose e Limose
11.40	22	1.0	5	1.9			1.1	66		7	1	55	nl	Ara. Molto Compatte
11.60	20	0.9	5	1.9			1.0	60		6	1	58	nl	Ara. Compatte
11.80	23	0.8	3	1.9			1.2	32		7	1	50	nl	Araille Sabbiose e Limose
12.00	24	0.0	#####	#NUM!								#NUM!	#NUM!	0
12.20	0											0		/
12.40	0											0		/
12.60	0											0		/
12.80	0											0		/
13.00	0											0		/
13.20	0											0		/
13.40	0											0		/
13.60	0											0		/
13.80	0											0		/
14.00	0											0		/
14.20	0											0		/
14.40	0											0		/
14.60	0											0		/
14.80	0											0		/
15.00	0											0		/
15.20	0											0		/
15.40	0											0		/
15.60	0											0		/
15.80	0											0		/
16.00	0											0		/
16.20	0											0		/
16.40	0											0		/
16.60	0											0		/
16.80	0											0		/
17.00	0											0		/
17.20	0											0		/
17.40	0											0		/
17.60	0											0		/
17.80	0											0		/
18.00	0											0		/
18.20	0											0		/
18.40	0											0		/
18.60	0											0		/
18.80	0											0		/
19.00	0											0		/
19.20	0											0		/
19.40	0											0		/
19.60	0											0		/
19.80	0											0		/
20.00	0											0		/
20.20	0											0		/
20.40	0											0		/
20.60	0											0		/

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT CON PUNTA MECCANICA BEGEMANN

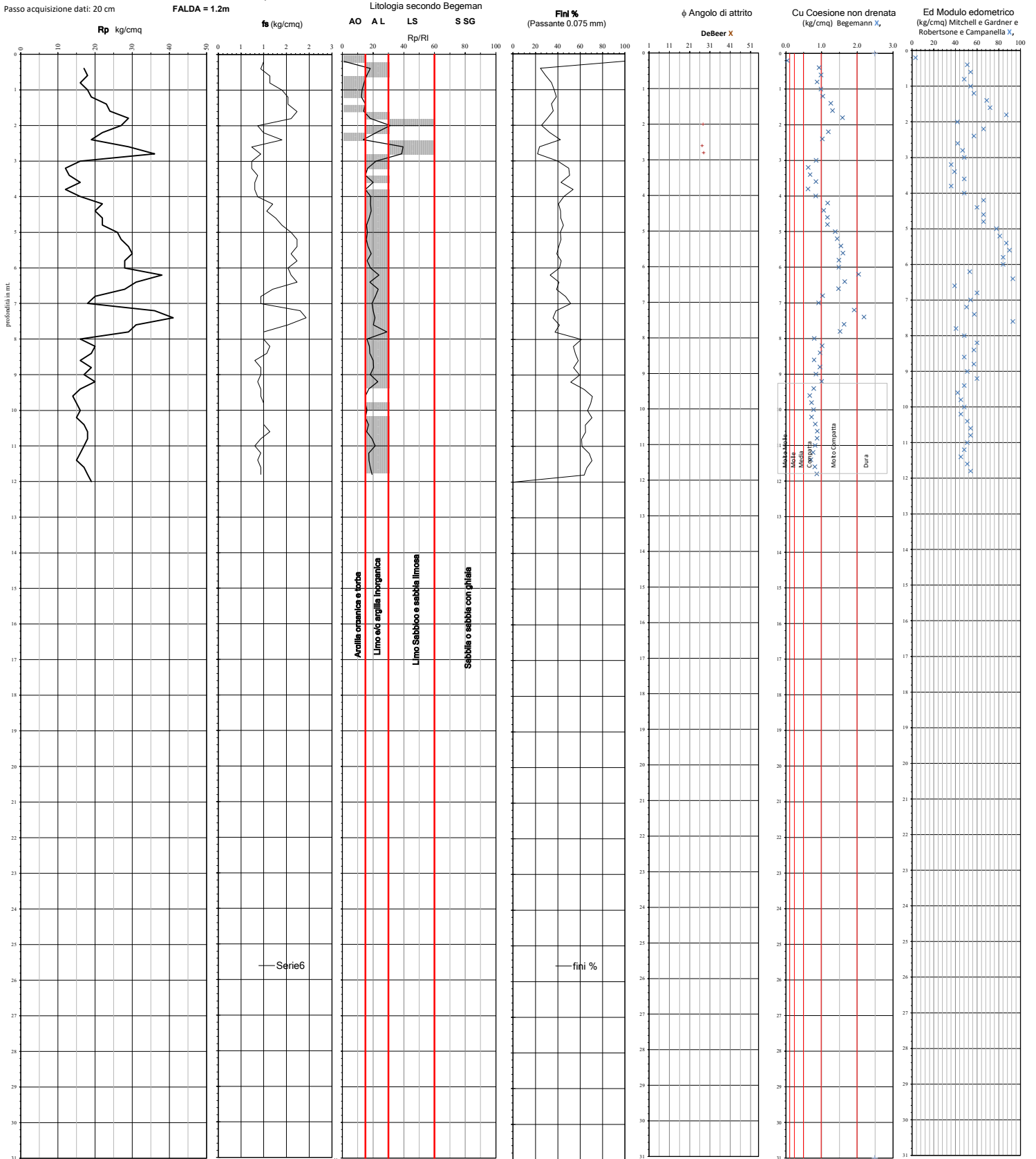
Prova CPT4

Località: MIRAMARE ROTONDA SS16 VIA CAV

Data: Gennaio 2021

Lavoro: 0 Falda non rilevata su questa verticale

Passo acquisizione dati: 20 cm FALDA = 1.2m



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT CON PUNTA MECCANICA BEGEMANN

Prova CPT5

Località: MIRAMARE ROTONDA SS16 VIA CAV

Data: Gennaio 2021

Lavoro: 0 Falda non rilevata su questa verticale

Passo acquisizione dati: 20 cm FALDA = 1.2m

Litologia secondo Begeman

Fini %
(Passante 0.075 mm)

ϕ Angolo di attrito
DeBeer X

Cu Coesione non drenata
(kg/cmq) Begemann X_s

Ed Modulo edometrico
(kg/cmq) Mitchell e Gardner e
Robertson e Campanella X_s

