

COMUNE DI FERRARA

PROVINCIA DI FERRARA

PR SOLAR SRL

PROGETTISTA ARCHITETTONICO:

ING. MINORCHIO MASSIMILIANO



INGEGNERIA
INTEGRATA

INGEGNERIA INTEGRATA Srl StP

Ing. Minorchio Massimiliano

Cell: 347/9126620

e-mail: inorchio.massimiliano@gmail.com

Sede: Via Ugo la Malfa, 10 - 40026 Imola (BO)

Ufficio Tecnico tel. 0542/644055

N° ELABORATO

EL.19

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA

1:1000

PRATICA N°

0125_2019_FV

REVISIONE 1 _____

REVISIONE 2 _____

REVISIONE 3 _____

REVISIONE 4 _____

DATA

26/04/2021

DISEGNATORE

MM

REGIONE: Emilia Romagna

PROVINCIA: Ferrara

COMUNE: Ferrara

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

PROGETTO: ampliamento cabina primaria in comune di Ferrara (FE) in via Pelosa

Caratterizzazione e modellizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito



NORMATIVA D.M. 17/01/2018, ENTRATA IN VIGORE IL 22/03/2018

DATA : 13-11-2020

DOCUMENTO : n. 35-020

COMMITTENTE:

P.R. SOLAR srl
Vicolo Gabbiani n. 30 , cap 48121 Ravenna (RA)
Numero REA RA – 221564 C.F./p.iva 02664640394
PEC p.r.solarsrl@poste-certificate.eu

GEOLOGO:

Dr.Geol. Matteo Pollini



I.GEO.S

- Sede legale: Argenta (FE) Via B. Tisi n. 5
Uffici support R. Emilia (RE) : via Emilia S. Pietro
uffici support Bolzano (BZ): via C.di Risparmio

Tel. : 339- 2613319

e.mail : pollinimatteo72@gmail.com

PEC : pollinimatteo@epap.sicurezza postale.it



- **Geologia**
- **Geotecnica**
- **Idrogeologia**
- **Ambiente**
- **Sicurezza cantieri**
- **Fonti Rinnovabili**

Associated B.E. – partner

R.P.D.E. **Business Development**
BIOENERGIE

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. VINCOLISTICA	3
2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO	3
2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	6
2.3. DESCRIZIONE DEL SITO D'INTERVENTO (vincolistica sovra comunale)	6
2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI.....	7
2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI	7
2.6. ANALISI CARTOGRAFIA PIANI DI BACINO (PAI ; PIAE)	16
3. GEOMORFOLOGIA e GEOLOGIA	17
4. TETTONICA LOCALE	24
5. CARATTERISTICHE SISMICHE	25
5.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE di FERRARA.....	26
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2018	34
6.1. INDAGINI SISMICHE e RISPOSTA SISMICA LOCALE	36
6.1.1. HVSR -	36
6.3. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	46
7. rischio di alluvionamento	49
8. campagna di indagini	49
9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	50
10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO)	50
10.1 prove penetrometriche	50
13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	53

1. PREMESSA

Su incarico di **P.R. SOLAR srl** (Vicolo Gabbiani n. 30, Ravenna-RA), lo scrivente ha eseguito un'indagine geognostica in un sito sul quale è in progetto l'ampliamento della cabina primaria, sita in via Pelosa, in comune di Ferrara (FE). A quest'intervento è rivolta la seguente relazione geologica, che è stata realizzata allo scopo di ricavare indicazioni per la realizzazione del modello geologico locale, e per fornire definire le caratteristiche geologiche-geotecniche-idrogeologiche generali, nonché valutare le caratteristiche sismiche del sito. Il **29-02-2008** il Senato ha approvato, senza modifiche, il disegno di legge n. 2013, nel testo licenziato dalla Camera dei deputati; pertanto il decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria, il cosiddetto milleproroghe, è stato convertito in legge e si attende soltanto la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. Il 01-07-2009 è poi entrato in vigore il D.M. 14/01/2008. **Il Comune di Ferrara è stato classificato in zona 3**, e ad esso si applica la normativa antisismica dettata, in materia, dalla legislazione statale e regionale. Poiché nello specifico, l'edificio oggetto del presente studio risulta essere un'opera stradale, sulla scorta del D.M. 14/01/2008 (sostituito con NTC 2018), la Classe d'Uso risulta essere la II (manutenzione ordinaria e straordinaria). Le modalità d'indagine e i risultati ottenuti sono descritti e analizzati nel presente rapporto.

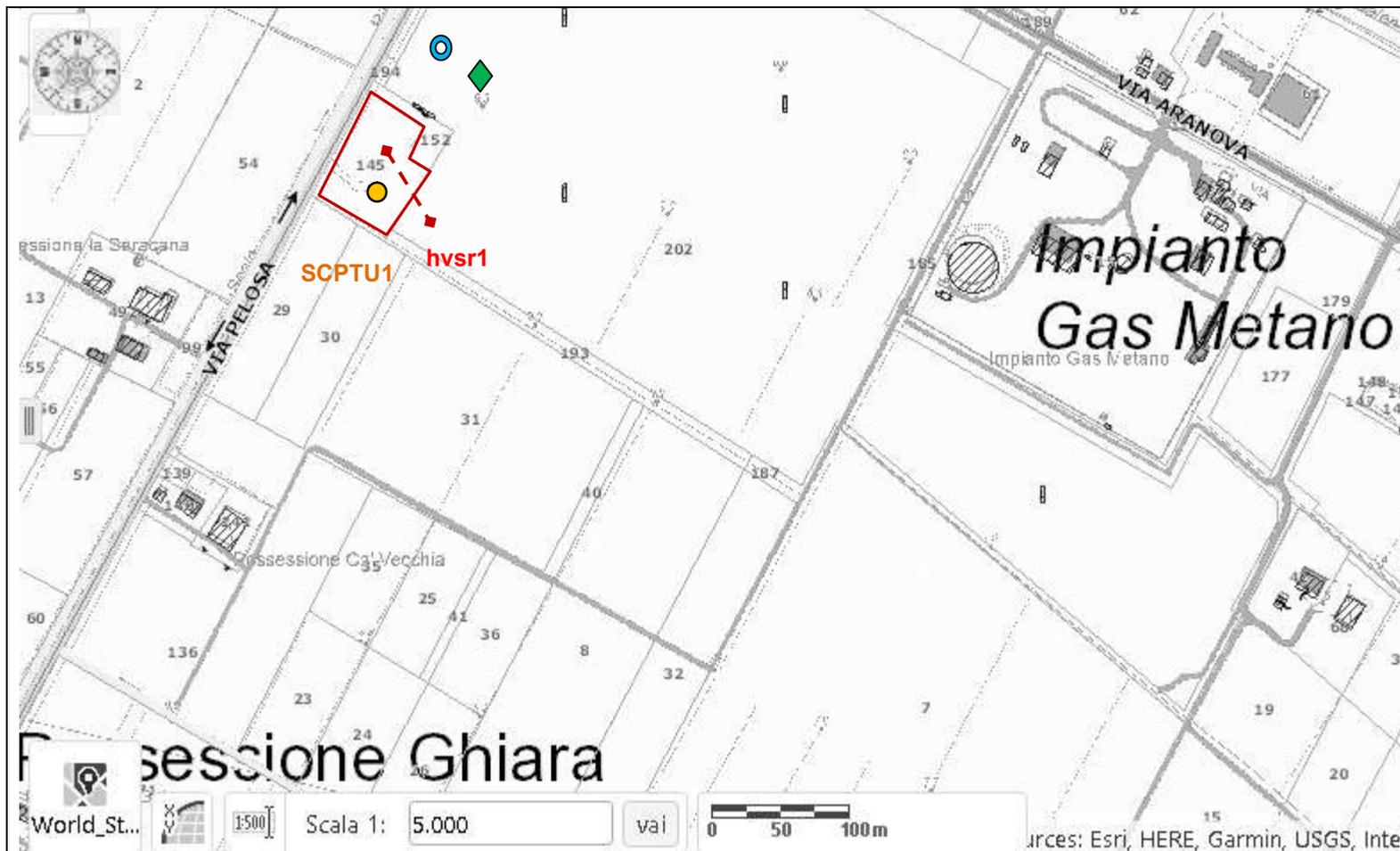
2. VINCOLISTICA

2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

L'area oggetto del presente studio ricade nel settore occidentale del territorio provinciale di Ferrara, poco ad ovest dell'impianto gas metano di via Arianuova. Precisamente il sito indagato si trova in via Pelosa, tra le località Possesione Ghiara e Cà Aranovina.

Per fornire un'indicazione più precisa sull'ubicazione dell'area oggetto di intervento vengono riportate: uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 10.000 (fig. 1) ed una carta ctr alla scala 1:5000.





Dati pozzo RER ●
n. 185150P607

STRATIGRAFIA DEL TERRENO	
Indicare la natura dei terreni e le PAIUS ACQUIFERI attraversati	Paolo capite
-da mt. 0,00 a mt. 10,50 TER. FERT. - ARG. + SABBIA - ARG. GRITTA	
-da mt. 10,50 a mt. 22,00 TORBA - ARG. GR. + TORBA - SABBIA FINE	
-da mt. 22,00 a mt. 40,00 ARG. GRITTA - S. FINE - ARG. - S. FINE	
-da mt. 40,00 a mt. 55,00 S. MEDIA - TORBA - ARG. GR. - S. FINE	
-da mt. 55,00 a mt. 65,00 SABBIA MEDIA - GROSSA - MEDIA	1/2
-da mt. 65,00 a mt. 71,50 ARGILLA + TRACCE TORBA	
-da mt. 71,50 a mt. 85,00 SABBIA FINE - GROSSA - MEDIA	2/2
-da mt. 85,00 a mt. 90,00 ARGILLA + SABBIA FINE	

Dati pozzo RER ◆
n. 185150P605

STRATIGRAFIA DEL TERRENO	
Indicare la natura dei terreni e le PAIUS ACQUIFERI attraversati	Paolo capite
-da mt. 0,00 a mt. 19,50 TER. VED. - ARGILLA GROSSA E TORBA	
-da mt. 19,50 a mt. 35,00 SABB. GR. FINE - ARG. GROSSA COMPACTA	
-da mt. 35,00 a mt. 43,50 SABBIA MEDIA	1/2
-da mt. 43,50 a mt. 56,00 SABBIA E TORBA - ARG. GROSSA SABBIA	
-da mt. 56,00 a mt. 66,00 SABBIA MEDIA	2/2
-da mt. 66,00 a mt. 74,00 ARG. GROSSA SABBIA - SABBIA FINE	
-da mt. 74,00 a mt. 85,00 SABBIA MEDIA	3/2
-da mt. 85,00 a mt. 93,00 ARG. GROSSA TORBA - SABBIA	

Fig. 2 – Ubicazione indagini geognostiche ed area di studio. Ferrara, via Pelosa. cartografica Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 5.000 (tratto dal SIT provincia di Ferrara). SCPTU = prove penetrometriche ; hvsr = prova sismica a stazione singola. Vengono riportate anche le stratigrafie di pozzi limitrofi da banca dati RER.

2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Tutte le indagini geognostiche e le valutazioni geotecniche svolte nel presente lavoro sono state eseguite secondo le seguenti normative e raccomandazioni di riferimento:

D.M. 14-03-2008 : “Testo Unitario”-Norme Tecniche per le Costruzioni (entrato in vigore il 01/07/2009) Sostituito dal **D.M. 17.01.2018 (NTC) entrato in vigore il 22/03/2018**

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M.14 gennaio 2008. Circolare e febbraio 2009.

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Pericolosità Sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27-07-2007.

Eurocodice 8 (1998) : Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997) : Progettazione geotecnica-Parte I: regole generali - UNI

Eurocodice 7.2 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) UNI

Eurocodice 7.3 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove in sito (2002)-UNI

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti Geotecnica della progettazione in zona sismica” Linee Guida (edizione provvisoria marzo 2005)

PTCP: Piano Territoriale di Coordinamento provinciale

PSC intercomunale

-**Nota Regione Emilia Romagna (13/10/2009)** “conclusione del regime transitorio delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D. M. 14 gennaio 2008 ed illustrazione dell’art. 64, comma 7, della L.R. n. 6 del 2009.”

- **Linee Guida (luglio 2010)** NTC 2008; Gruppo Interregionale dell’Ordine dei Geologi

2.3. DESCRIZIONE DEL SITO D’INTERVENTO (VINCOLISTICA SOVRA COMUNALE)

Dal punto di vista della vincolistica a scala sovra comunale, si fa riferimento a quanto riportato nel PTCP attualmente vigente, della Provincia di Ferrara. Secondo tale strumento, il sito indagato non risulta essere caratterizzato da vincoli tali, da precludere all’intervento in progetto.

Il sito indagato fa parte di un Sistema e zona strutturante la forma del territorio

2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI

Dal punto di vista ambientale, le problematiche connesse al sito indagato, dal momento che questo va ad occupare suolo, anche se trattasi di un ampliamento su un'area già urbanizzata, sono connesse alla regimazione delle acque di prima pioggia che devono essere mantenute regimate in modo corretto.

2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI

Secondo quanto riportato nel PSC del comune di Ferrara, il sito indagato fa parte dell'unità di paesaggio 4-U.P. Valli del Reno .

Relativamente alla tavola ambiti normativi (PSC), il sito indagato ha le seguenti caratteristiche:

- Carta dei sistemi. Psc. Scala 1:25.000. il sito indagato, relativamente al sistema dell'ambiente e delle dotazioni collettive subsistema connessioni geografiche strutturali (sistema insediativo della produzione), fa parte del subsistema grandi servizi tecnici (art. 13.5). E' circondato da subsistema aree agricole di cinture (art. 10.3 subsistema ambientale e delle dotazioni collettive).
- Carta dei Ambiti. Psc. Scala 1:25.000. il sito indagato fa parte di un ambito specializzato per attività produttive di nuovo insediamento (art. 14.6) in territorio urbanizzabile, attiguo ad infrastrutture di progetto e corridoio infrastrutturale.
- Carta delle trasformazioni. Psc. Scala 1:25.000. il sito indagato è al limite sud ovest di nuovi insediamenti per le attività produttive (art. 17.2).
- Carta della rete ecologica e del verde. Psc. Scala 1:36.000. il sito indagato è circondato (sul lato ovest e sud) da un connettivo ecologico diffuso.
- Carta della rete dell'acqua. Psc. Scala 1:36.000. il sito indagato fa parte, relativamente allo scolo delle acque meteoriche, ad un comparto collegabile alla rete di compensazione (art. 21.2).
- Carta tutela storico culturale ed ambientale. Psc. Scala 1:36.000. il sito indagato fa parte delle unità di paesaggio delle Valli del Reno, e si trova a nord di un dosso di interesse storico (art. 25 2.5)
- Carta vincoli idraulici ed infrastrutture. Psc. Scala 1:36.000. il sito indagato è interessato da fasce di rispetto di elettrodotti, in particolare a sud (art. 26 2.6)

- Carta rete di scolo delle acque meteoriche- rischio di allagamento. Psc. Scala 1:36.000. il sito indagato si trova ad ovest di una vasta area che si estende verso Ferrara, con rischio di allagamento da canale 1.
- Carta Ricognizione vincoli paesaggistici di cui al DLgs 42/2004 art.142, psc. Scala 1:36.000. il sito indagato non ha vincoli.
- Carta allagabilità da fiumi, scenario A (alta gravità). Psc. Il sito indagato, ha un grado di pericolosità variabile da 0 a 5. Relativamente alle fasce A e B del PAI, il sito indagato, allo stato attuale delle modellistiche pubbliche, non ha criticità.
- Carta allagabilità da fiumi, scenario B (media gravità). Psc. Il sito indagato, non ha criticità. Relativamente alle fasce A e B del PAI, il sito indagato, allo stato attuale delle modellistiche pubbliche, non ha criticità.



Legenda:

sistema dell'ambiente e delle dotazioni collettive subsistema connessioni geografiche strutturali

SISTEMA INSEDIATIVO DELLA PRODUZIONE Art. 13

Subsistema grandi servizi tecnici art. 13.5

SISTEMA AMBIENTALE E DELLE DOTAZIONI COLLETTIVE Art. 10

Subsistema aree agricole di cinture art. 10.3

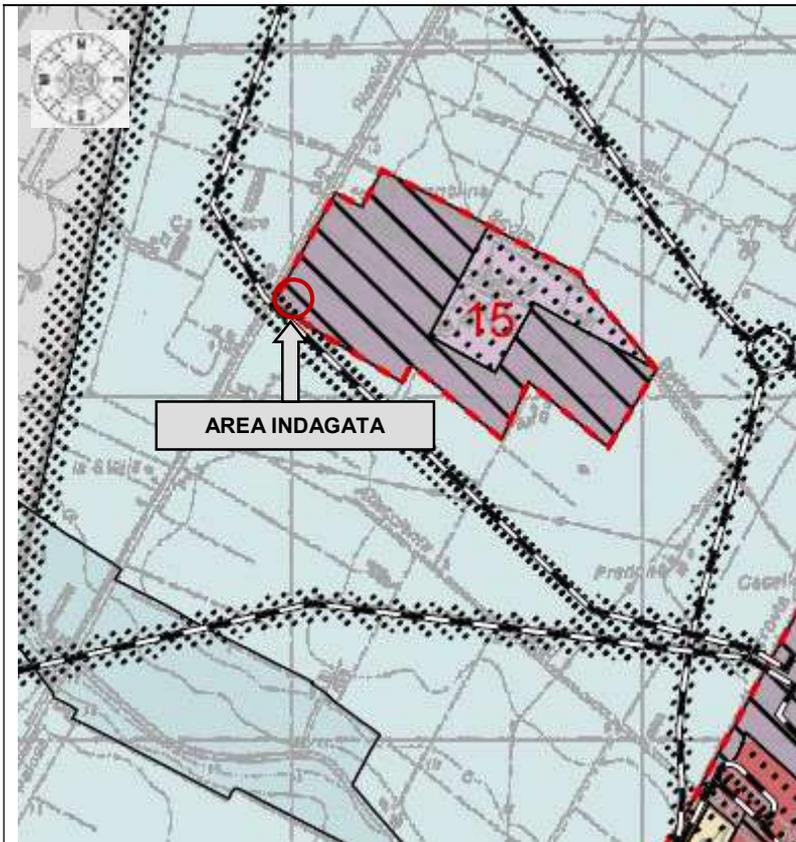
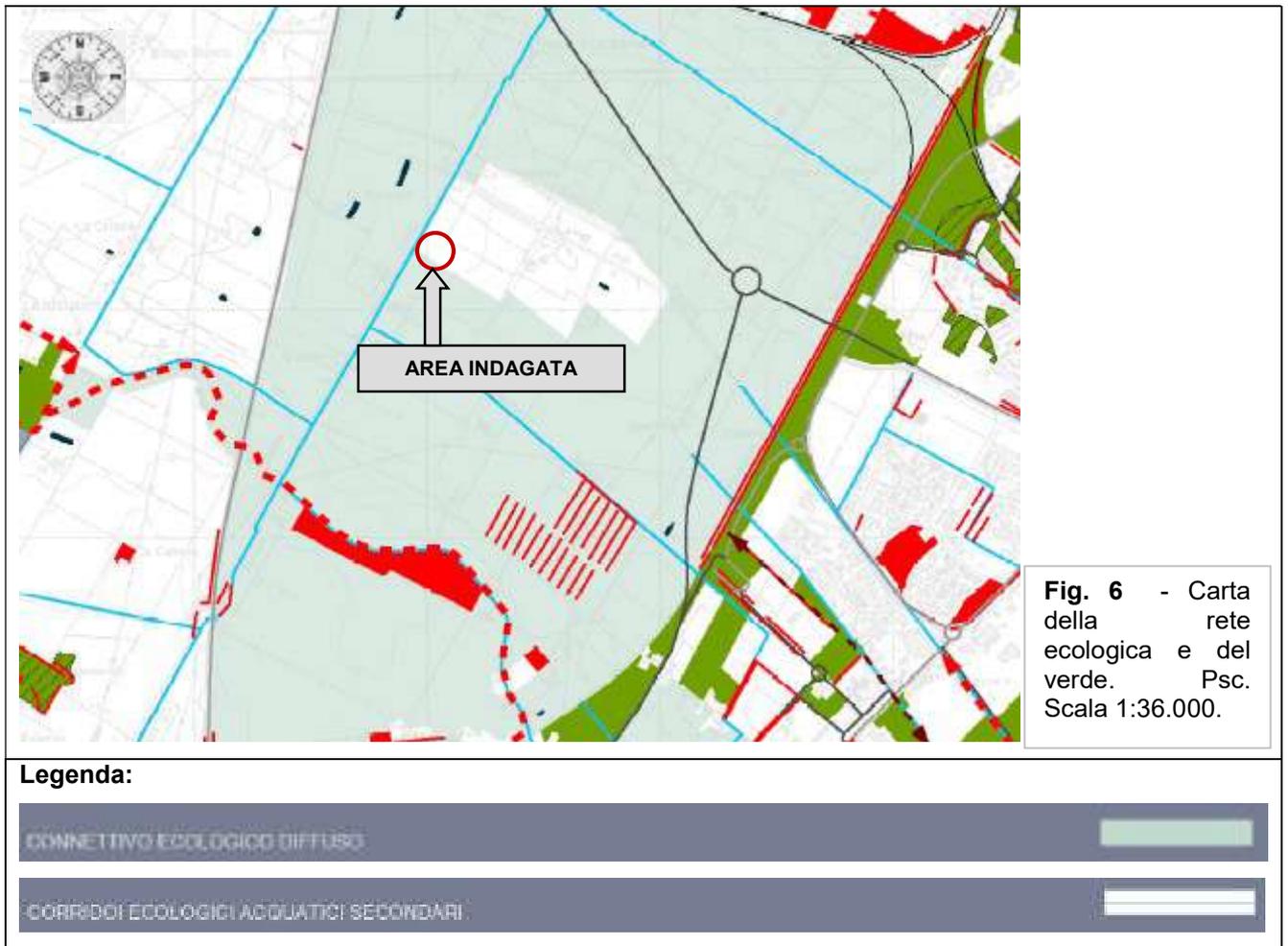


Fig. 4 - Carta dei Ambiti. Psc.
Scala 1:25.000.

Legenda:

TERRITORIO URBANIZZATO		
TERRITORIO URBANIZZABILE	art. 14	
ambiti consolidati specializzati per attività produttive	art. 14.5	
ambiti specializzati per attività produttive di nuovo insediamento	art. 14.6	
ambito agricolo di rilievo paesaggistico	art. 14.9	
ambito ad alta vocazione produttiva agricola	art. 14.10	
ambito agricolo periurbano - subambito di riqualificazione ambientale e paesaggistica	art. 14.11	
infrastrutture di progetto		
corridoi infrastrutturali	art. 14,	





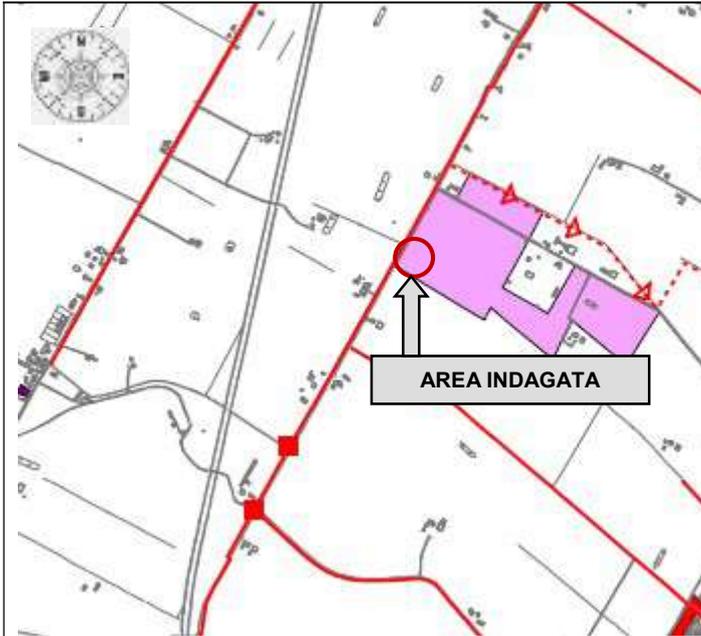
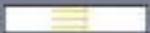


Fig. 7 - Carta della rete dell'acqua. Psc.
Scala 1:36.000.

Legenda:

SCOLO ACQUE METEORICHE	
azioni nei comparti	art. 21.2
comparti collegabili alle aree di compensazione	
Interventi sulla rete	
recapito diretto acque meteoriche	
canali esistenti	
canali di progetto	

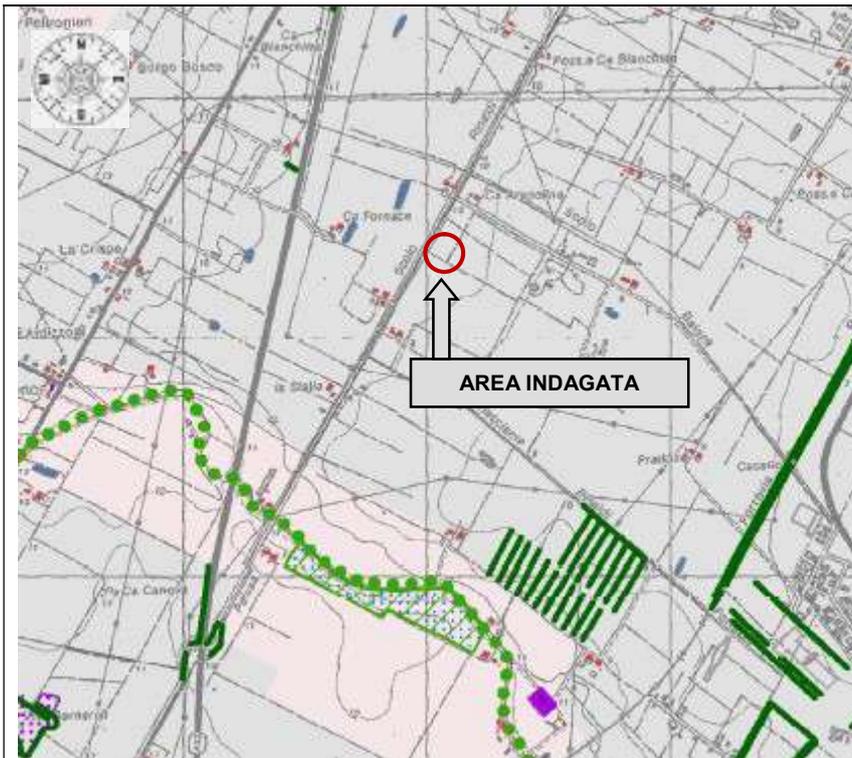


Fig. 8 - Carta tutela storico culturale ed ambientale. Psc. Scala 1:36.000.

Legenda:

4.0 EDIFICI INSEDIAMENTI E INFRASTRUTTURE
DI INTERESSE STORICO

4.9 dossi e rilevati

art. 25.2.5

7.8 unità di paesaggio

art. 25

u.p. delle valli del Reno

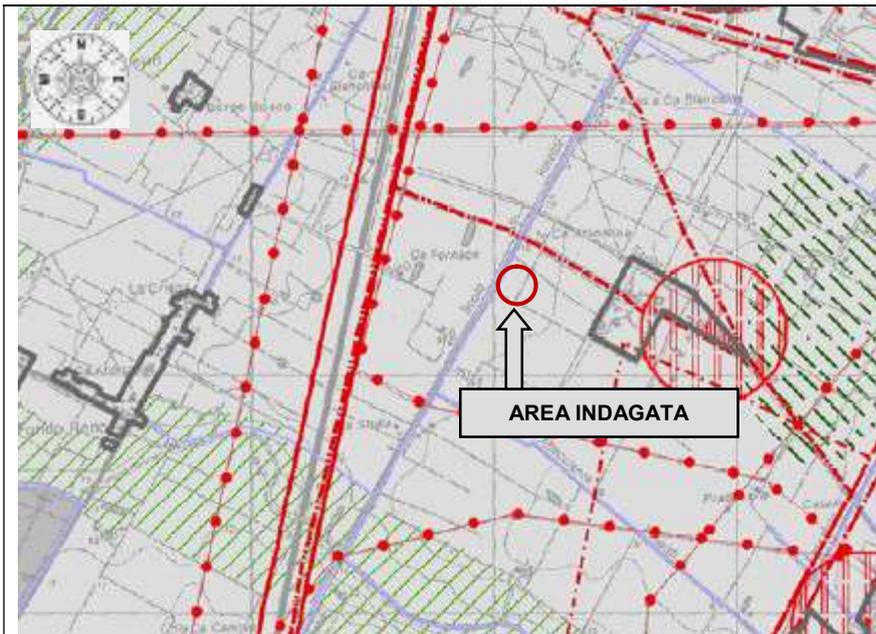


Fig. 9 - Carta vincoli idraulici ed infrastrutture. Psc. Scala 1:36.000.

Legenda:

vincoli idraulici ed idrogeologici

paleovalle	art. 26.1.5	
aree a ridotta soggiacenza della falda freatica	art. 26.1.6	

Rispetto infrastrutture

elettrodotti	art. 26.2.5	
--------------	-------------	--

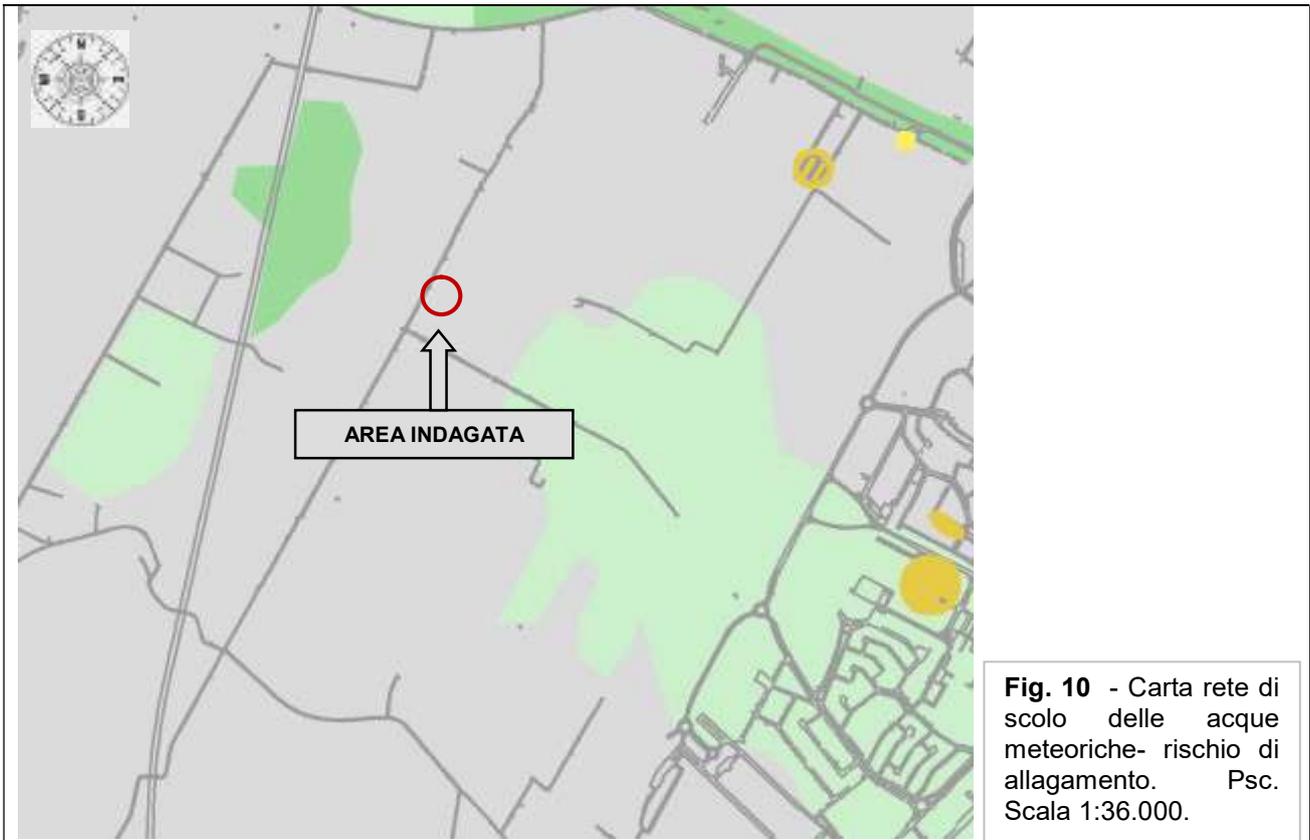
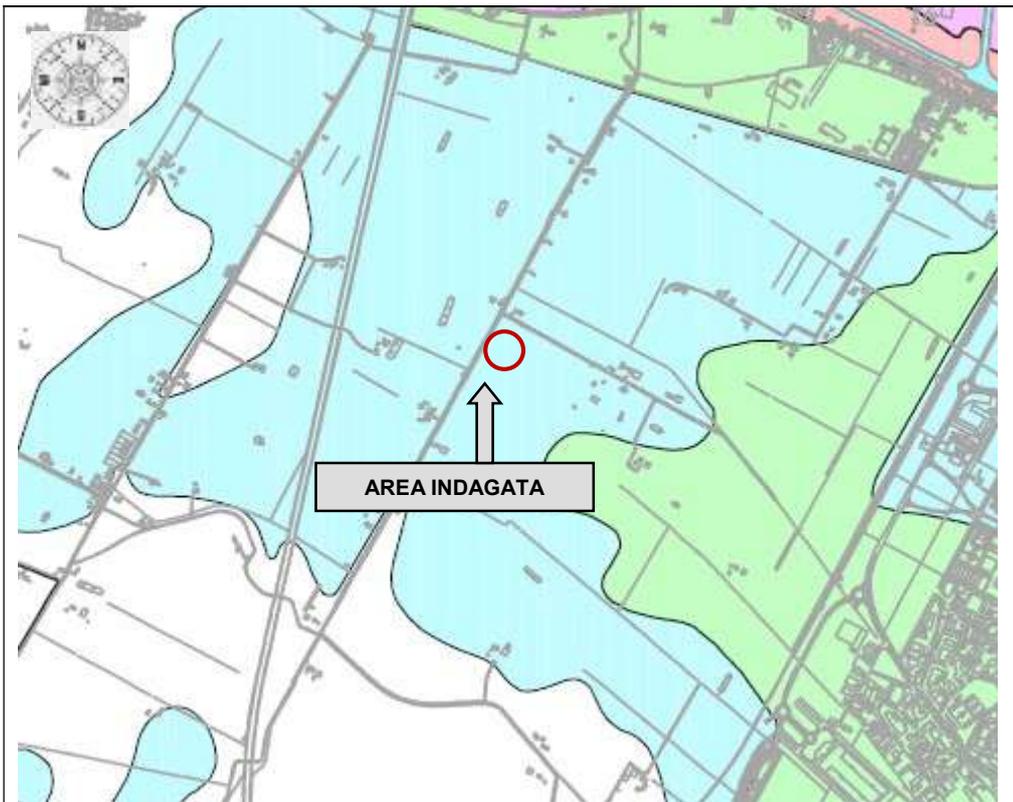


Fig. 10 - Carta rete di scolo delle acque meteoriche- rischio di allagamento. Psc. Scala 1:36.000.

Legenda:





Legenda: gradi di pericolosità



Fig. 11 - Carta allagabilità da fiumi, scenario A (alta gravità). Psc.

2.6. ANALISI CARTOGRAFIA PIANI DI BACINO (PAI ; PIAE)

Secondo la cartografia del PAE (piano attività estrattive) comunale e del PIAE provinciale, l'area indagata non ricade in zone di escavazione inerti. Secondo quanto riportato nel PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume PO), il sito indagato risulta non

essere interessato da emergenze naturalistiche, paesaggistiche e storico-culturali presenti nelle aree di dissesto idraulico ed idrogeologico. Tutta l'area in esame, (relativamente alle varie cartografie di scenari di rischio idraulico da psc e da piano di protezione civile di Ferrara), non risulta essere a rischio di allagamenti significativi.

3. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

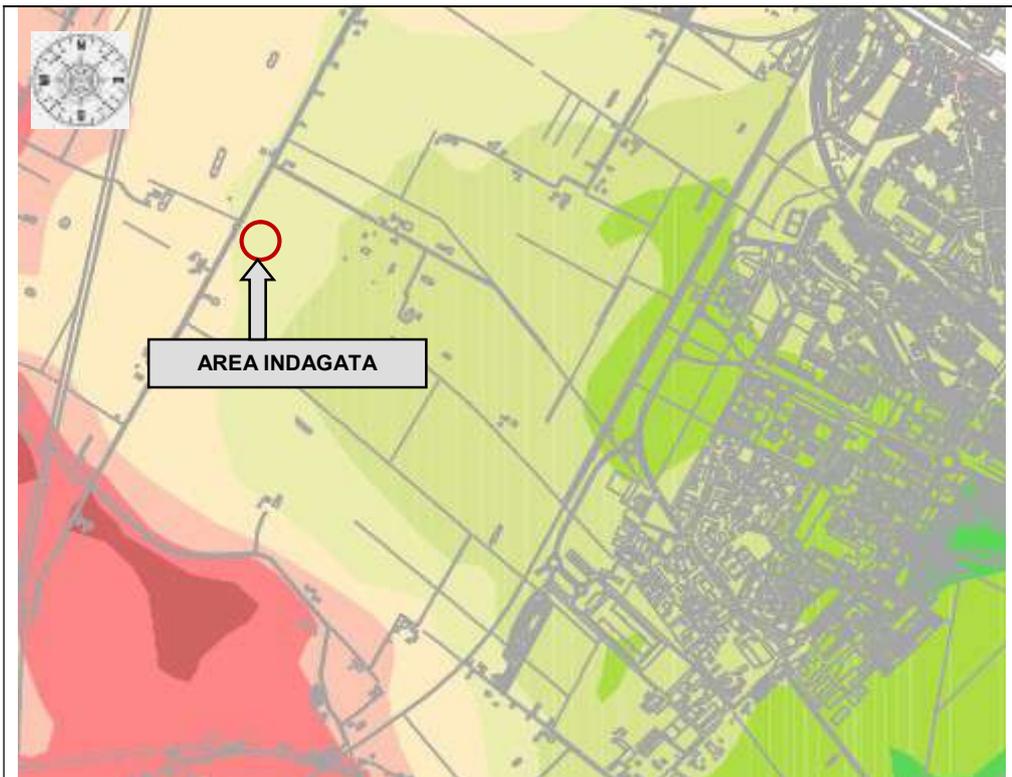
L'area in esame, in generale, è morfologicamente limitata da 2 barriere morfologiche (antropiche) rappresentate dal tracciato ferroviario Ferrara-Venezia ad est, e dal tracciato stradale di via Pelosa (ad ovest). Per quanto riguarda la situazione morfologica locale, la zona di studio è caratterizzata da quote topografiche che variano da + 8,50 a + 9,00 metri s.l.m.

L'area è composta da una vasta parte del bacino interfluviale della Sammartina, che rappresenta una conca chiusa tra i dossi del Canal Ladino e del Vecchio Reno, del Po di Ferrara, del Po di Primaro e dell'argine di S.Martino (tratto meridionale dell'antico argine della Sammartina). Tale bacino presenta quote digradanti da WNW a ESE, da m 11 nella parte occidentale fino a 5-5.5 m sl.m. in località C. Branese vicino alla superstrada Ferrara-Mare (va però tenuto presente che il bacino idraulico attualmente detto della Sammartina ha come margine NW lo scolo Rinaldi, le cui spalle presentano quote di poco superiori a 9 m). Verso SW, oltre il dosso del Vecchio Reno, la zona descritta dal modello comprende anche un lembo marginale del grande bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio, che ha centro presso Poggio Renatico; qui le quote scendono verso SW dai m 11 del dosso del Vecchio Reno ai m 9,5 dei terreni prossimi al casello autostradale di Ferrara Sud. Nel settore a Est del Primaro sono individuabili, oltre al fianco destro del dosso del Volano e al fianco orientale del Primaro (entrambi caratterizzati da ventagli e canali di rotta, piccoli dossi secondari che si dipartono da questi rami del Po), altre depressioni.

Tutto il territorio presenta in genere quote sensibilmente minori a quelle delle zone a Ovest del Primaro; la depressione maggiore (Prati di Palmirano) presenta quote minime intorno a 1,5 m.

Nella Sammartina, che costituisce un comparto morfologico concavo, compreso tra diversi fiumi, la maggior parte del terreno superficiale risulta costituita da materiali argillosi (argille-sabbiose, argille-limose e argille); in questa zona i terreni sono quindi, dal punto di vista agronomico, di modesto pregio.

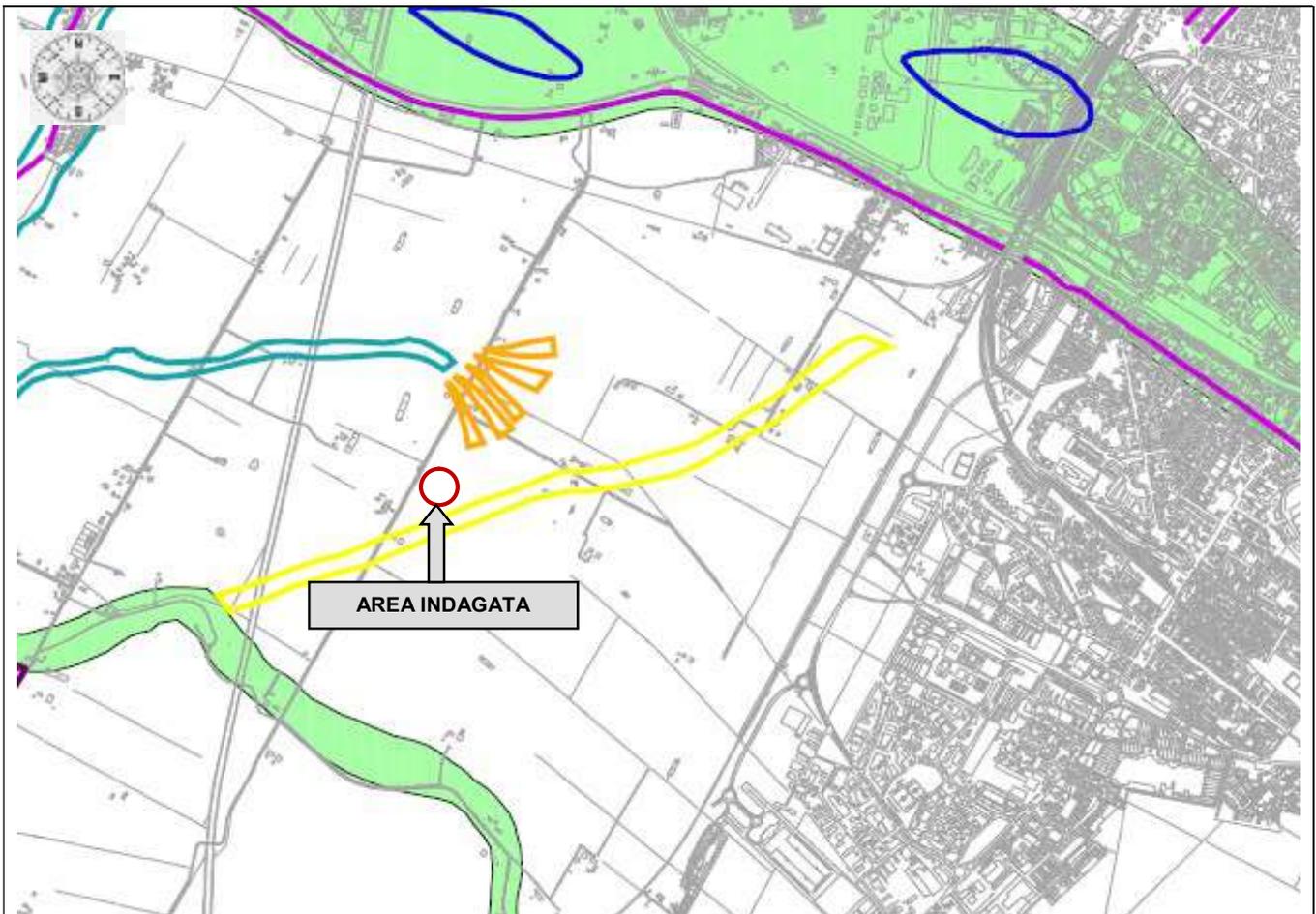
Vari sondaggi attestano che tale corpo sabbioso (spesso contenente sabbie addensate), di età fine-Pleistocene/primo-Olocene, che a Nord della città comincia tra i 18 e i 25 m di profondità, è abbastanza continuo e si spinge anche a Sud di Ferrara, manifestando una certa tendenza ad aumentare di profondità (fino a oltre 30 m). Nella «zona via Bologna-Cona» è infatti generalmente rinvenibile tra i 25 e i 28 m di profondità (-18/-22 m rispetto al l.m.m.). Per l'Olocene, l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. Nei livelli più profondi strati e lenti di sedimenti sabbiosi testimoniano la presenza di antichi corsi fluviali di cui non è attualmente possibile ricostruire l'andamento planimetrico. Risultano più leggibili, a Sud di Ferrara, gli ultimi 20 metri di sedimenti. A NW dell'area in esame (zona tra Mizzana e via S. Giacomo), strati di sabbie grigie, tra -12 e -1 m rispetto al l.m.m., attestano la presenza di un corpo subalveo paragonabile a quello del Po attuale. Tra circa -12 e -8 m, sulla linea via Krasnodar-viale Beethoven-viale Wagner-Aguscello, si individua una fascia di sedimenti sabbiosi interpretabile o come argine naturale Sud di un primitivo Po di Ferrara, o come testimonianza di un paleoalveo ed esso parallelo: all'estremità Ovest di via Krasnodar questi materiali sabbiosi si spingono fino a m -3 (meno di 10 m dal piano campagna). Lenti varie di sedimenti sabbioso-limosi forse collegabili a conoidi di rotta si rinvencono inoltre a varie profondità: sembrano più sicuramente riferibili alla conoide di una rotta molto antica del Po di Ferrara quelli situati tra -2 e 0 m dal l.m.m. nell'area via Trentini-via Beethoven-via Bologna. Nei 6 m più superficiali (tra 0 e 6 m dal l.m.m.), l'unico corpo sabbioso rinvenibile si sviluppa lungo il Volano, e appare sicuramente riferibile al Po di Ferrara di età storica e alle sue pertinenze dirette: in particolare potrebbero appartenere a due conoidi di rotte relativamente recenti le lenti di materiali sabbiosolimosi rinvenute, tra -2 e + 3 m, rispettivamente tra il Po di Ferrara e via Krasnodar e tra il Po di Ferrara e via Aeroporto. Verso il centro della Sammartina i corpi sabbiosi si riducono rapidamente di spessore e dominano decisamente i sedimenti limosi e argillosi di piana interfluviale. Tale situazione è ancora più marcata nella parte più meridionale della Sammartina, ove si hanno quasi esclusivamente materiali argilloso limosi, talora marcati da livelli torbosi attribuibili alla presenza di antiche paludi. Lenti e strati sabbiosi isolati di modesto spessore potrebbero collegarsi, anche qui, alla presenza di antichi corsi d'acqua secondari, di cui non è possibile ricostruire l'andamento. Sono assai scarsi, per l'area in esame, i dati stratigrafici relativi al Po di Primario.



Legenda:

quote comprese tra -1 e 0	Blue
" " tra 0 e +1	Light Green
" " tra +1 e +2	Light Green
" " tra +2 e +3	Light Green
" " tra +3 e +4	Light Green
" " tra +4 e +5	Light Green
" " tra +5 e +6	Light Green
" " tra +6 e +7	Light Green
" " tra +7 e +8	Light Green
" " tra +8 e +9	Light Green
" " tra +9 e +10	Light Green
" " tra +10 e +11	Light Green
" " tra +11 e +12	Light Green

Fig. 12 - carta altimetrica dell'area di studio, tratta dalla omonima carta a corredo del quadro conoscitivo del PSC del Comune di Ferrara edizione 2003. In evidenza come l'area di studio sia caratterizzata da quote comprese tra 8 e 9 metri.



Legenda:

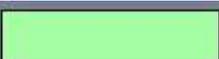
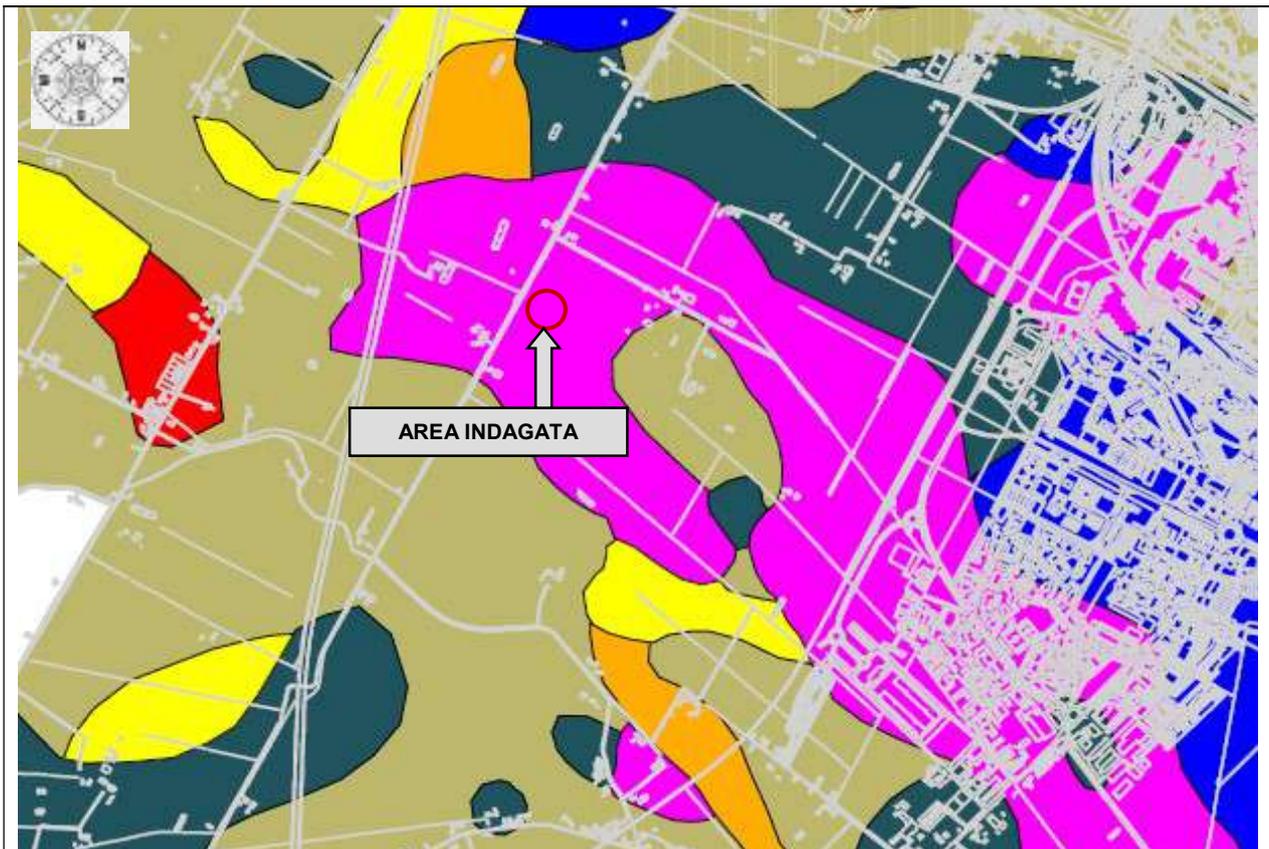
paleovalvei dossivi alti	
paleovalvei dossivi bassi	
paleovalvei non dossivi	
forme di esondazione (conoidi, ecc)	
point bar	
paleoargini	
paleoisole	

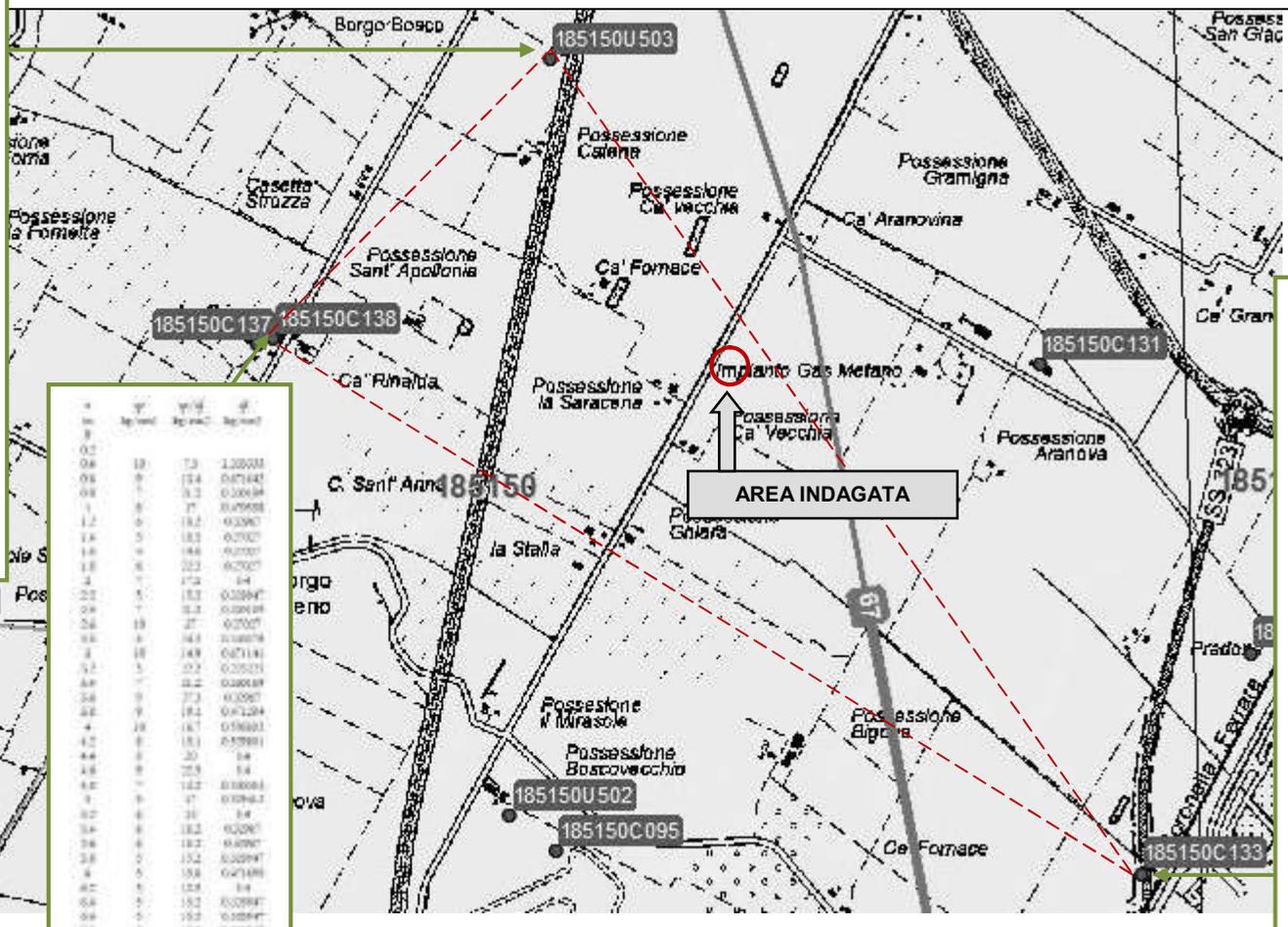
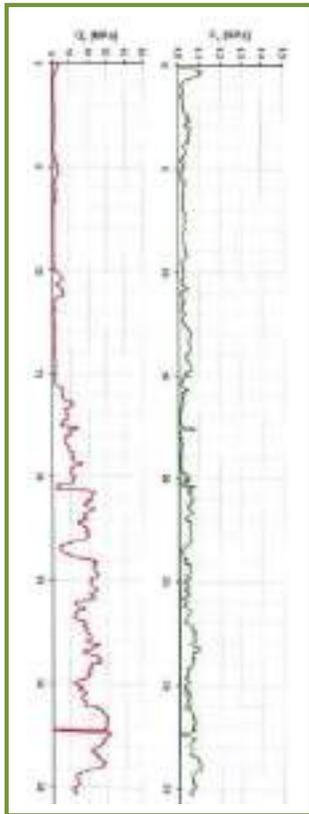
Fig. 13 - carta geomorfologica dell'area di studio, tratta dalla omonima carta a corredo del quadro conoscitivo del PSC del Comune di Ferrara edizione 2003. In evidenza come l'area di studio sia ubicata in una zona periferica rispetto al sistema deposizionale di paleoalveo, e pertanto caratterizzata da ambiente di palude e argine prossimale.



Legenda:

sabbia	
sabbie limose	
sabbie argillose	
limi	
limi sabbiosi	
limi argillosi	
argille	
argille sabbiose	
argille limose	
miscela ternaria	

Fig. 14 - carta geolitologica dell'area di studio , tratta dalla omonima carta a corredo del quadro conoscitivo del PSC del Comune di Ferrara edizione 2003. L'area di studio ricade in un ampio settore caratterizzato, almeno superficialmente, da una miscela ternaria. Solo verso nord,aumenta la frazione granulae.



n	W	W'	W''
Sp. (m)	Sp. (m)	Sp. (m)	Sp. (m)
0.0		13.0	1.20000
0.8	1.0	15.4	0.87144
0.8	1.0	16.3	0.33039
0.8	1.0	17.0	0.47998
1.2	0.0	18.2	0.23907
1.4	0.0	18.2	0.23907
1.8	0.0	14.6	0.91007
1.8	0.0	22.3	0.70707
2.0	1.0	17.0	0.47998
2.0	1.0	15.3	0.28847
2.0	1.0	16.3	0.33039
2.4	1.0	27.0	0.20707
2.4	1.0	14.6	0.91007
2.4	1.0	14.8	0.87144
2.4	1.0	27.2	0.25021
2.4	1.0	22.2	0.28847
2.4	1.0	27.3	0.23907
2.4	1.0	18.2	0.47124
2.4	1.0	16.7	0.58883
2.4	1.0	15.1	0.57883
2.4	1.0	20.0	0.4
2.4	1.0	22.5	0.4
2.4	1.0	14.2	0.88883
2.4	1.0	27.0	0.20707
2.4	1.0	20.0	0.4
2.4	1.0	18.2	0.23907
2.4	1.0	18.2	0.40907
2.4	1.0	15.2	0.20707
2.4	1.0	15.6	0.47144
2.4	1.0	12.0	0.4
2.4	1.0	15.2	0.20947
2.4	1.0	19.0	0.20947
2.4	1.0	18.2	0.20947
2.4	1.0	20.4	0.40000
2.4	1.0	28.8	0.48883
2.4	1.0	12.0	0.88883
2.4	1.0	12.0	0.70707
2.4	1.0	18.8	0.25021
2.4	1.0	18.8	0.25021
2.4	1.0	18.8	0.25021
2.4	1.0	23.3	0.48124
2.4	1.0	15.1	0.57883
2.4	1.0	13.3	0.68124
2.4	1.0	14.4	0.48124
2.4	1.0	15.3	0.23907
2.4	1.0	14.4	0.48124
2.4	1.0	17.0	0.47998
2.4	1.0	17.0	0.47998
2.4	1.0	17.0	0.47998
2.4	1.0	16.7	0.58883
2.4	1.0	16.7	0.58883
2.4	1.0	20.0	0.4

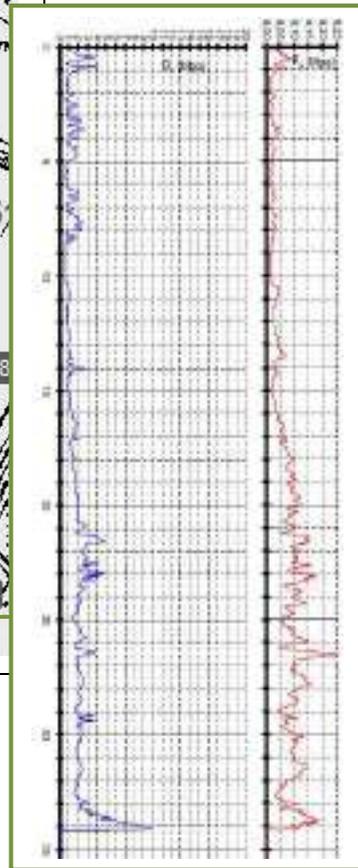
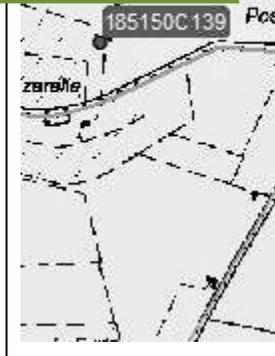
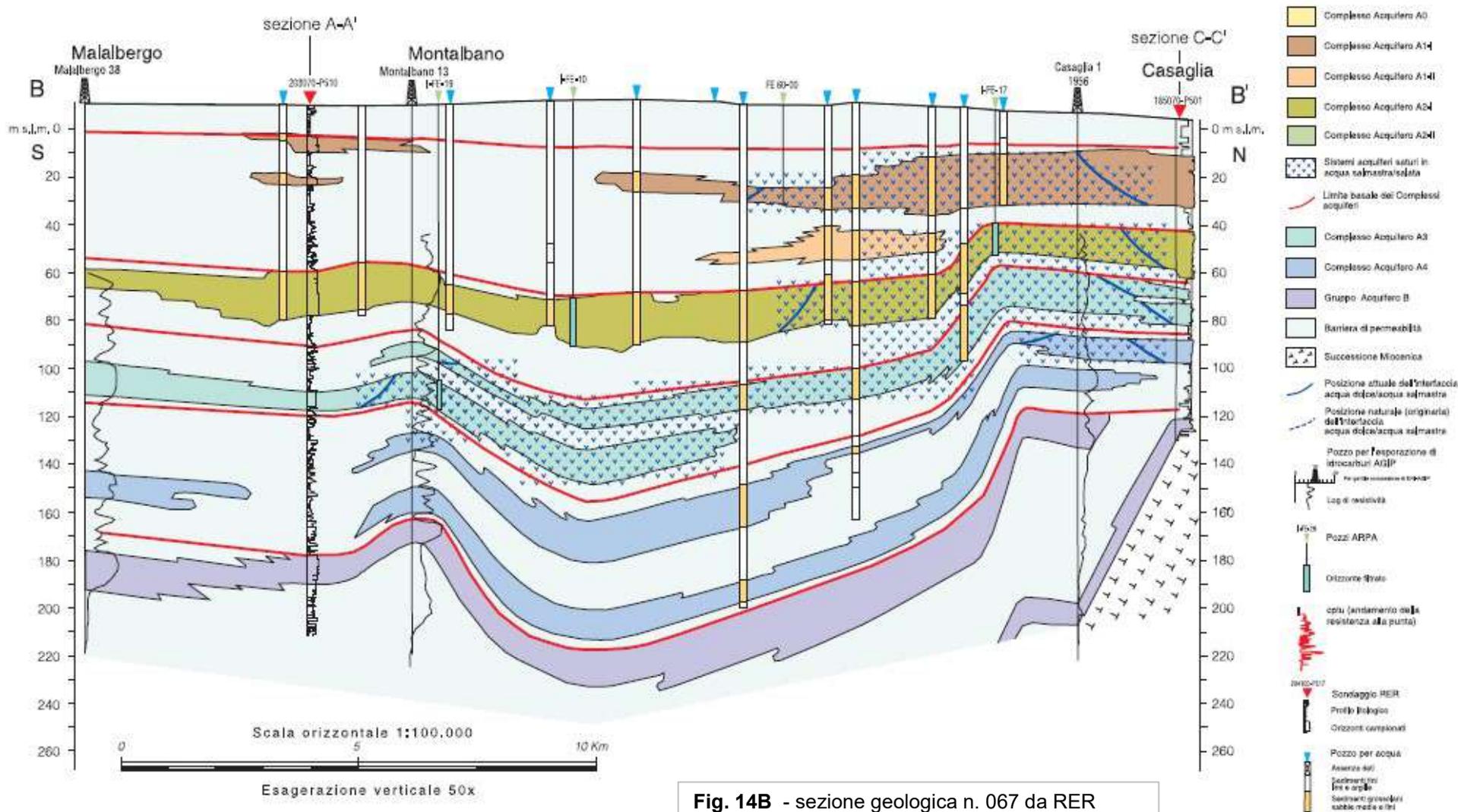


Fig. 14A - carta sezioni geologiche. Da RER. Triangolazione per confronto di indagini al contorno.



4. TETTONICA LOCALE

La convergenza tra placca europea e africana è accomodata nell'appennino settentrionale da pattern deformativi e da un'attività sismica molto complessi. Il campo di stress attivo, ricavato dall'analisi dei meccanismi focali di terremoti e dallo studio dello stress in pozzi, rileva la presenza di un settore tirrenico della catena in cui domina un campo deformativi estensionale mentre nel settore adriatico prevale una compressione attiva. In quest'ultimo settore, in cui si colloca l'Emilia Romagna, la tettonica attiva è generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti. L'analisi sismotettonica condotta in recenti studi (Benedetti et. al., 2003), ha messo in evidenza come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-pleistocenico siano caratterizzate da attività da molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale (note illustrative della Carta sismotettonica della R.E.R. scala 1: 250000).

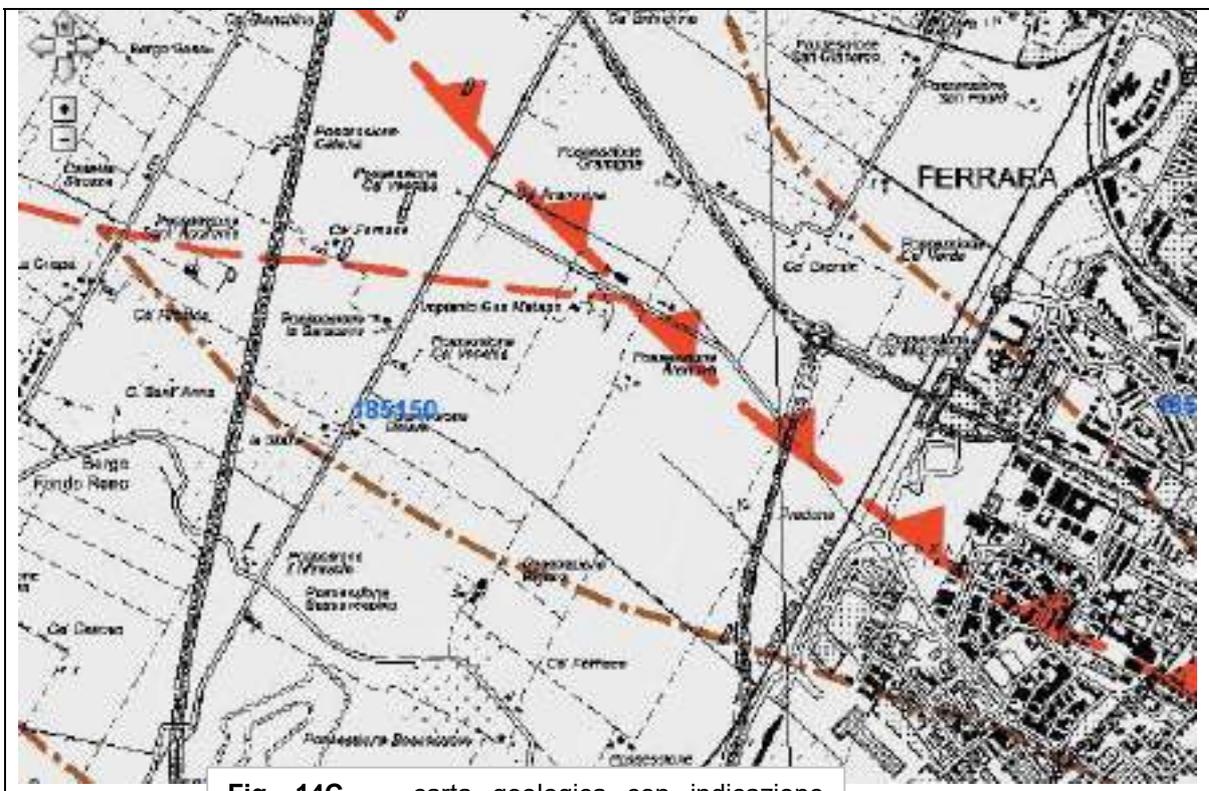


Fig. 14C - carta geologica con indicazione elementi tettonici di Ferrara ovest, da RER

5. CARATTERISTICHE SISMICHE

Per il territorio comunale di Ferrara e per il Ferrarese in generale sono storicamente documentate numerose scosse sismiche. Molte di queste sono attribuibili a eventi esterni al territorio, come nel caso della maggior scossa del terremoto del Friuli, il 6 maggio 1976: la presenza di sedimenti elastici incoerenti e saturi d'acqua può essere infatti motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; si è trattato comunque di fenomeni che nel Ferrarese non hanno provocato danni. Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti. Nel seguito verranno appunto elencate e considerate le più importanti tra queste ultime.

Al di fuori della zona sismogenetica 912 e dunque al di fuori della Dorsale Ferrarese sembra dunque responsabile usare la magnitudo di progetto di 51/4, per l'analisi del rischio della liquefazione e la determinazione del rapporto di sforzo ciclico.

Invece, nell'utilizzo dei grafici basati sull'indice di resistenza penetrometrica dinamica (SPT), sono da preferire le curve dedicate alle sabbie limose (come si vedrà di seguito), funzione della percentuale in fine. Nelle sabbie dello strato "C", depositatesi in ambiente costiero ed in ambiente di piallassa sono significative le componenti limose, dunque con frazione coesiva > del 20%. La magnitudo di progetto prevista nell'area sismogenetica 912 dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è 6,14M, ma su tutta l'area della Dorsale Ferrarese storicamente in provincia di Ferrara, e aree limitrofe, non sono documentati terremoti di magnitudo superiore a 5,6Ms (questo almeno sino al 2012).

Il sisma del 21/05/2012 (ore 4.04) e del **29/05/2012** (ore 9.00) con epicentro tra Bologna, Ferrara e Modena, hanno registrato rispettivamente una magnitudo Richter **di 6.0 e 5.8** con ipocentri tra 6 e 10 Km di profondità.

La magnitudo Richter (MI) dell'evento principale del 20/05/2012 è pari a 5.9 (± 0.3), che è stata determinata con i dati di circa 60 sismogrammi della rete sismica nazionale. Il calcolo del momento tensore ha rivelato la magnitudo momento (Mw) e il tipo di movimento avvenuto

durante la scossa principale. Si tratta di un meccanismo compressivo con direzione di massima compressione nord-sud. **La Mw calcolata dall'inversione dei dati della rete sismica nazionale risulta pari a 5.9.**

La mappa di scuotimento atteso è stata determinata dai dati della Rete Sismica Nazionale. In un'area di circa 30x30 km² intorno all'epicentro la mappa prevede intensità fino al VII-VIII grado della scala Mercalli modificata.

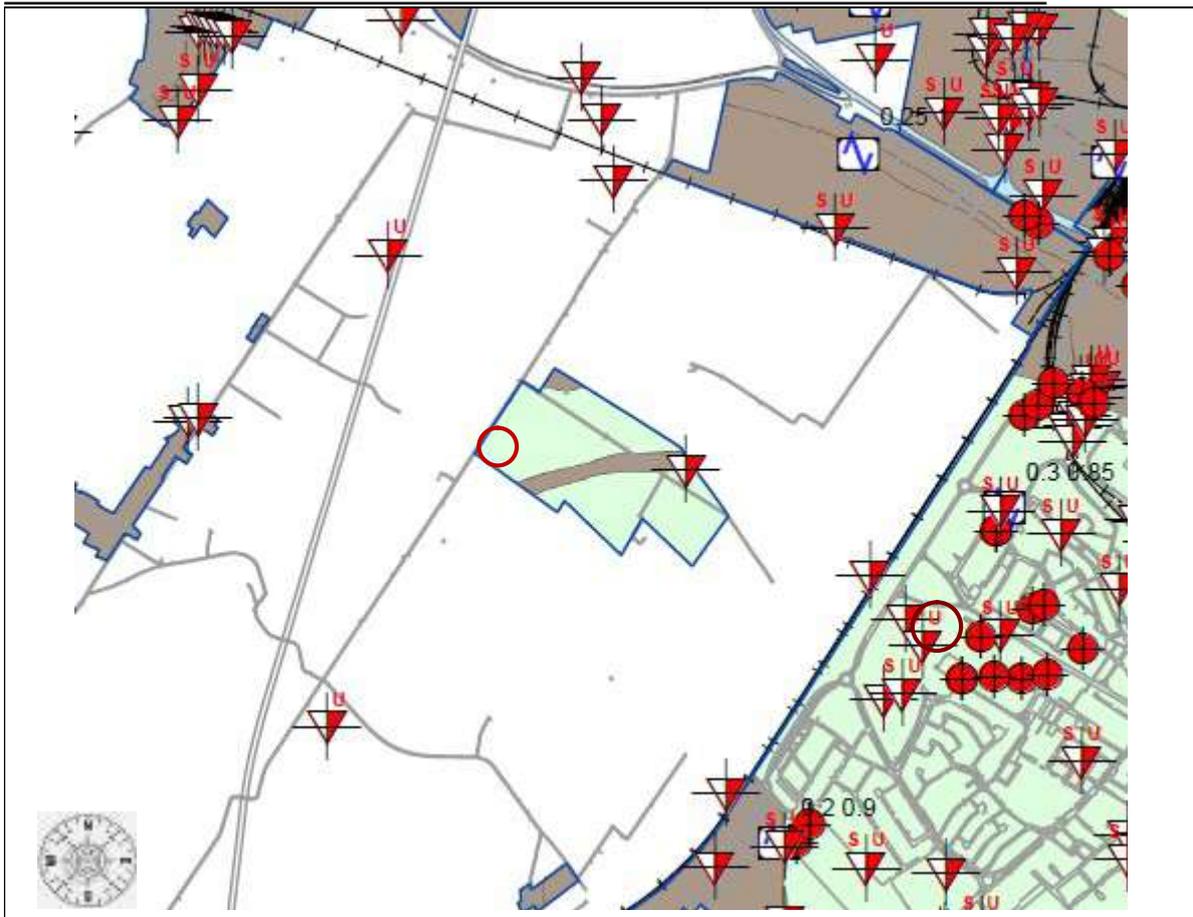
L'evento di magnitudo $M_w=5.9$ del 20/5/2012 delle 2:03 GMT (ore 4:03 ora locale) è stato risentito in tutto il nord-Italia e le shakemap calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, *nella zona epicentrale le accelerazioni massime sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità*. Questo valore è tuttavia stimato in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui è solo indicativo.

5.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE DI FERRARA

Per una caratterizzazione generale del sito, vengono di seguito riportate le indicazioni ottenute da indagini eseguite per la redazione della parte geologica del PSC e sismica del PSC-POC comunale di Ferrara, nonché dello studio di microzonazione sismica comunale.

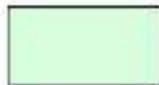
L'area indagata, ha le seguenti caratteristiche:

- carta delle zone omogenee in prospettiva sismica (PSC). Scala 1:37.000, ricade in Zona 1 (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille magre)
- carta degli elementi del sottosuolo che possono influenzare il moto in superficie (PSC). Scala 1:37.000. L'area indagata si trova ad ovest di una zona con profondità tetto deposito sabbioso-limoso superficiali tra i 5 ed i 20 metri, mentre verso sud tale deposito è oltre i 20.
- carta delle velocità delle onde di taglio s (V_s) (PSC). Scala 1:37.000. L'area di studio ha una media delle indagini al contorno, variabile da 135 a 187 m/sec, valori indicativi rispettivamente di un suolo D ed un suolo C.
- carta geologico tecnica (PSC). Scala 1:37.000 rimpicciolita del 15%. Il sito indagato è caratterizzato da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille magre. I depositi a frazione granulare maggiore si trovano ad ovest, nord e sud del sito indagato.
- carta delle frequenze naturali dei terreni (PSC). Scala 1:37.000. il sito indagato ha una media di valori al contorno, relativamente all'ampiezza picco a bassa frequenza ($f_{0,2}=0,5-1$) variabile da 0,85 a 0,90.
- carta di microzonazione sismica di III° livello (PSC). Scala 1:37.000. il sito indagato ha un F_a . $PGA = 1,5-1,6$; F_a intensità spettrale $0,1 s < T_0 < 0,5 s = 1,8$; F_a intensità spettrale $0,5 s < T_0 < 1,0 s = 2,5$.



Legenda:

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona 1
 (Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille sabbiose, argille magre)



Zona 2
 (Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità)

Zone suscettibili di instabilità



Liquefazioni

 area indagata



Punto di misura di rumore ambientale
 con indicazione dei valori di F0
 f0,1 (bassissima) - f0,2 (bassa)



Prova penetrometrica con cono sismico

Fig 15 – estratto carta delle zone omogenee in prospettiva sismica (PSC). Scala 1:37.000

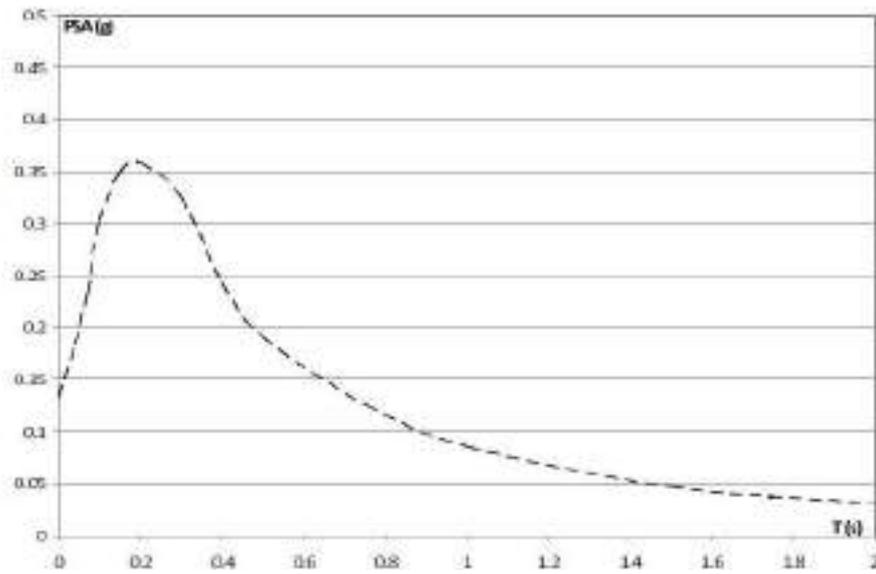


Fig 16A – Spettro di risposta per il comune di Ferrara relativamente agli studi di microzonazione sismica (da PSC).

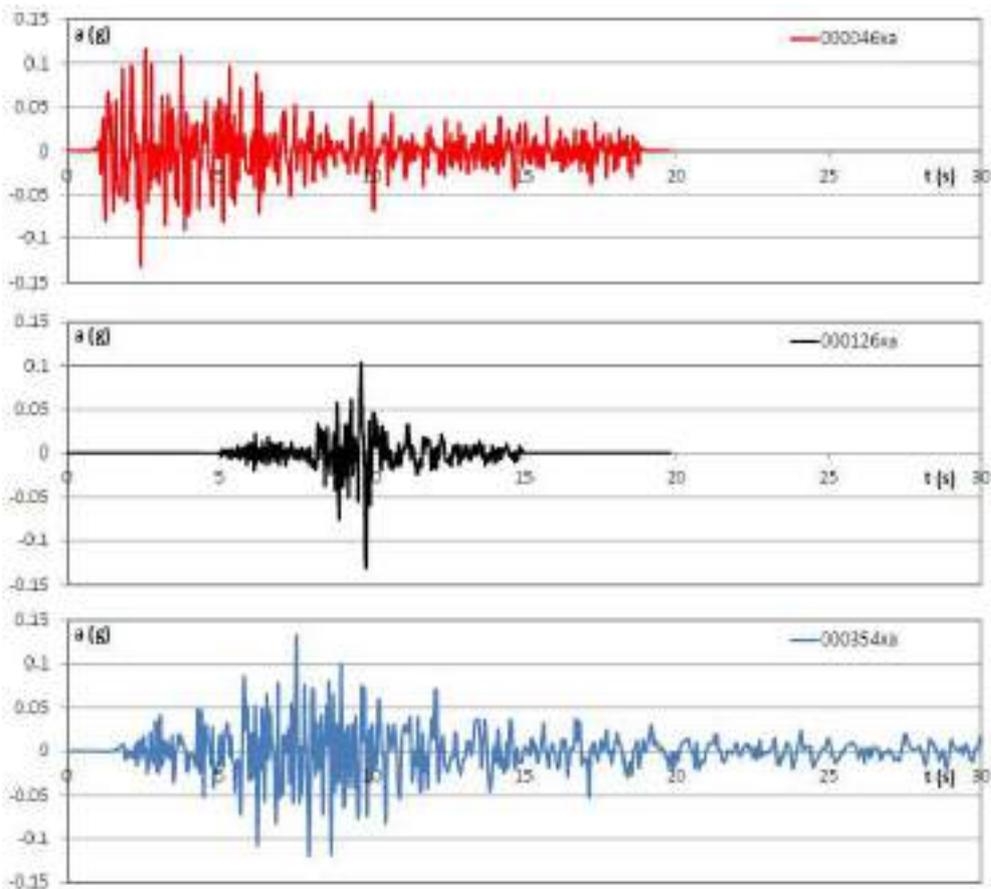
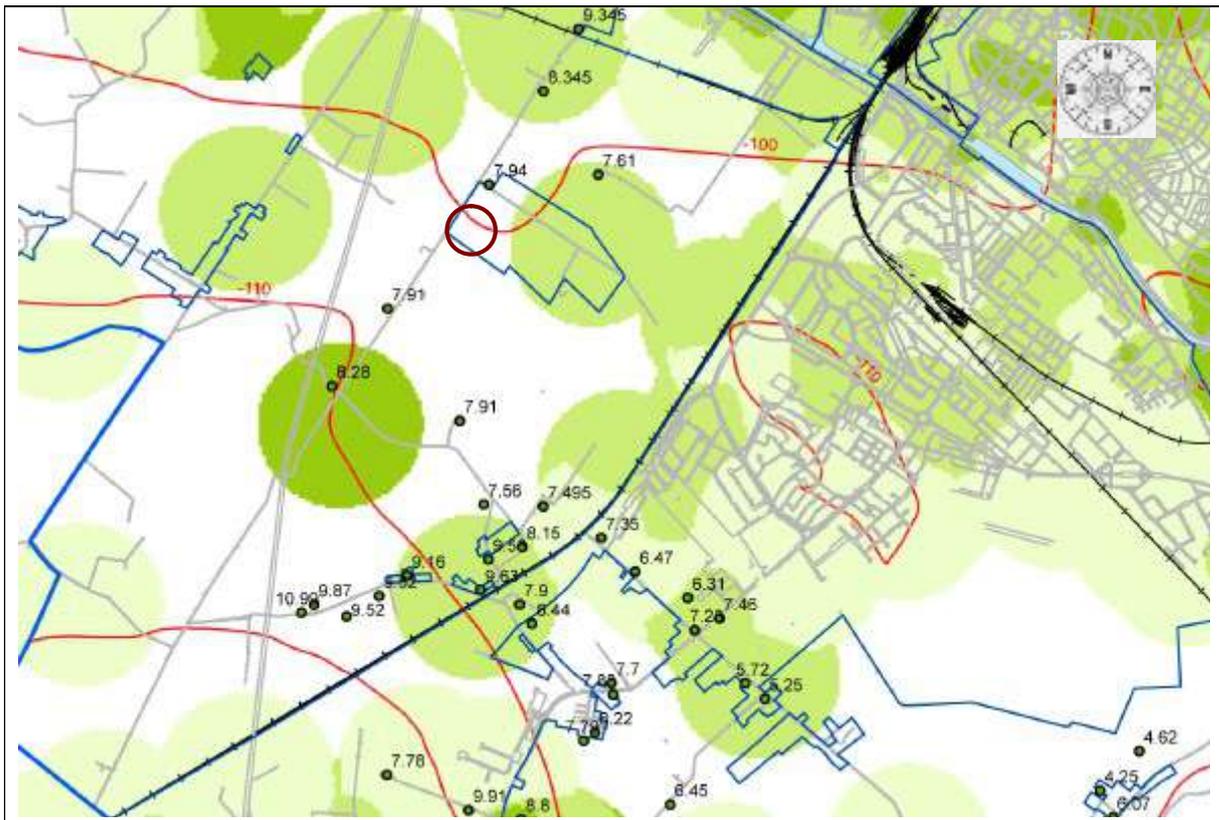


Fig 16B – Accelerogrammi sismici di riferimento per il comune di Ferrara.



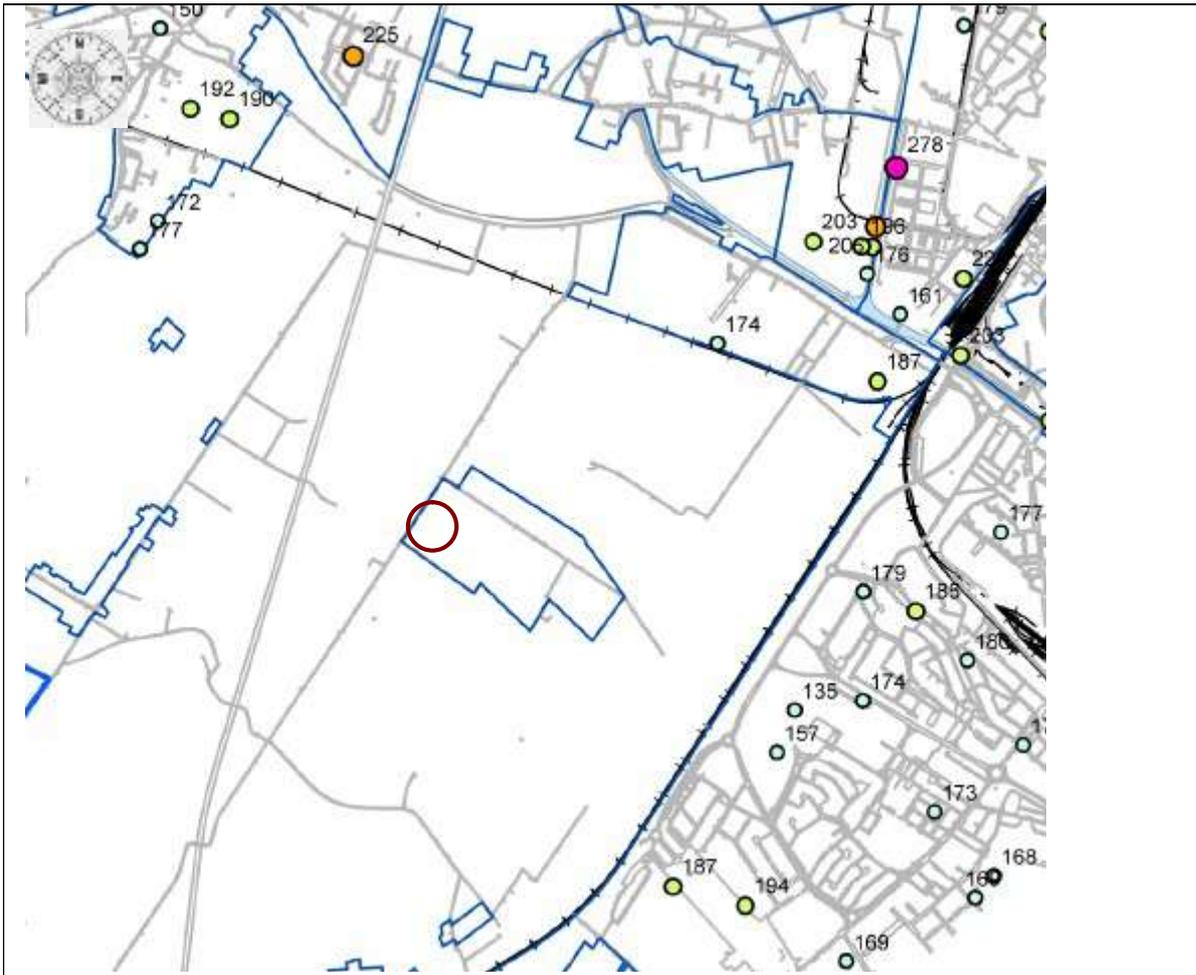
Legenda:

profondità tetto deposito
 sabbioso-limoso superficiali

<p>• Pozzi freatici Quota falda s.l.m.m. (m)</p> <p>— Base depositi continentali Prima interfaccia risonante Quota s.l.m.m. (m)</p>	<table border="0"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px; background-color: #90EE90;"></td> <td style="padding-left: 10px;">z < 5 m</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px; background-color: #90EE90;"></td> <td style="padding-left: 10px;">5 m < z < 20 m</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px; background-color: #90EE90;"></td> <td style="padding-left: 10px;">z > 20 m</td> </tr> </table>		z < 5 m		5 m < z < 20 m		z > 20 m
	z < 5 m						
	5 m < z < 20 m						
	z > 20 m						

Area indagata ○

Fig 17 – estratto carta degli elementi del sottosuolo che possono influenzare il moto in superficie (PSC). Scala 1:37.000.



Legenda:

Vs,30 (m/s)

- 135 - 180
- ◐ 181 - 220
- ◑ 221 - 260
- 261 - 300

Fig 18 – estratto carta delle velocità delle onde di taglio s (Vs) (PSC). Scala 1:37.000 ingrandita del 25%.l'area di studio è cerchiata in rosso.



Legenda:

- Sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido (profondità massima sondaggio)
- Sondaggio o pozzo che ha raggiunto il substrato rigido (profondità substrato)

Zone suscettibili di instabilità



Liquefazioni



area indagata



CL

Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre



SM

Sabbie limose, miscela di sabbia e limo



SP

Sabbie pulite con granulometria poco assortita

Fig 19 – estratto carta geologico tecnica(PSC). Scala 1:37.000 rimpicciolita del 15%.

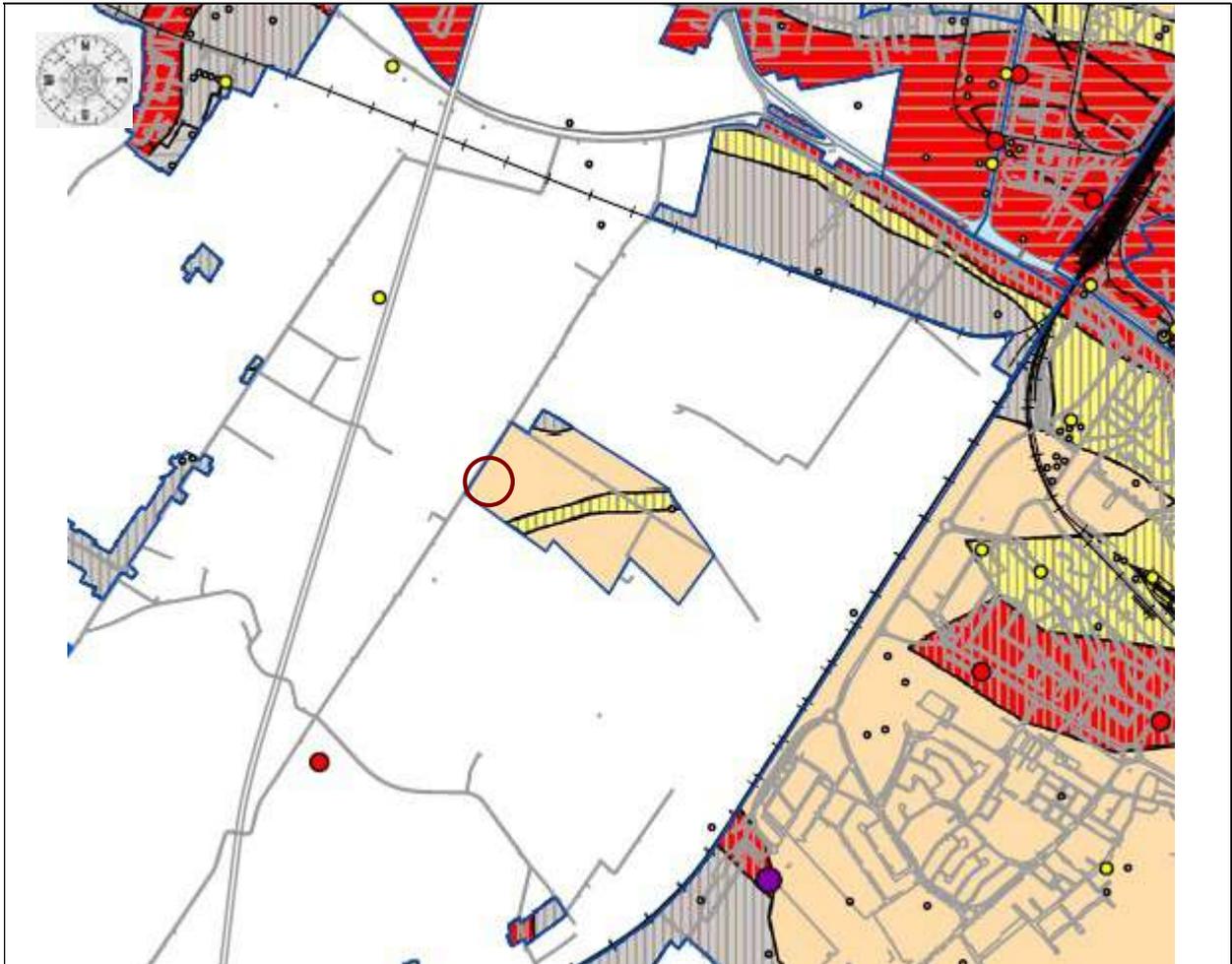


Legenda:

Ampiezza picco a bassa frequenza ($f_{0,2} = 0.5 - 1$)

- 0 - 2
- 2 - 3.5
- 3.5 - 5
- 5 - 6

Fig 20 – estratto carta delle frequenze naturali dei terreni (PSC). Scala 1:37.000 ingrandita del 25%. Cerchiata in rosso, l'area indagata.



Legenda:

indice puntuale di potenziale di liquefazione il da CPT

- Basso ($IL < 2$) ● Moderato ($2 < IL < 5$) ● Elevato ($5 < IL < 15$)
- Molto elevato ($IL > 15$)

Zone instabili suscettibili di liquefazione

- Liquefazioni
- Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6
 - Fa Intensità Spettrale - $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$
 - Fa Intensità Spettrale - $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$

Zone instabili suscettibili di liquefazione IL

- Rischio di liquefazione basso ($IL < 2$)
- Rischio di liquefazione moderato ($2 < IL < 5$)
- Rischio di liquefazione elevato e localmente molto elevato ($IL > 5$)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6
- Fa Intensità Spettrale - $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$
- Fa Intensità Spettrale - $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$

Fig 21 – estratto carta di microzonazione sismica di III° livello (PSC). Scala 1:37.000
 Cerchiata in rosso, l'area indagata.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2018

Viene di seguito fornita al progettista una serie di dati, in parte ottenuta tramite software-free Geostru, per la determinazione dei parametri sismici di sito in relazione al Decreto Ministeriale NTC 2018 ed in base ad indagini sito specifiche eseguite nell'area di studio.



Sito in esame.

latitudine: 44,829334 [°]

longitudine: 11,567998 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15401	44,818570	11,517800	4136,0
Sito 2	15402	44,819710	11,588260	1923,2
Sito 3	15180	44,869700	11,586650	4723,2
Sito 4	15179	44,868560	11,516140	5978,1

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc' [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,037	2,550	0,253
Danno (SLD)	63	50	0,047	2,493	0,274
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,139	2,592	0,272
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,187	2,543	0,278

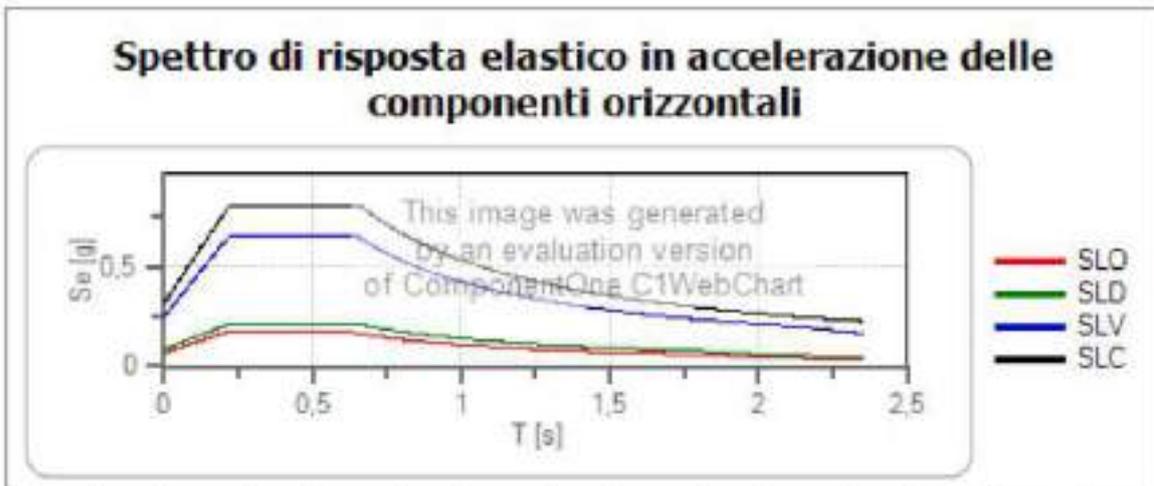
Coefficienti Sismici fondazioni e Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,800	2,490	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
SLD	1,800	2,390	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
SLV	1,800	2,400	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240
SLC	1,690	2,370	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240

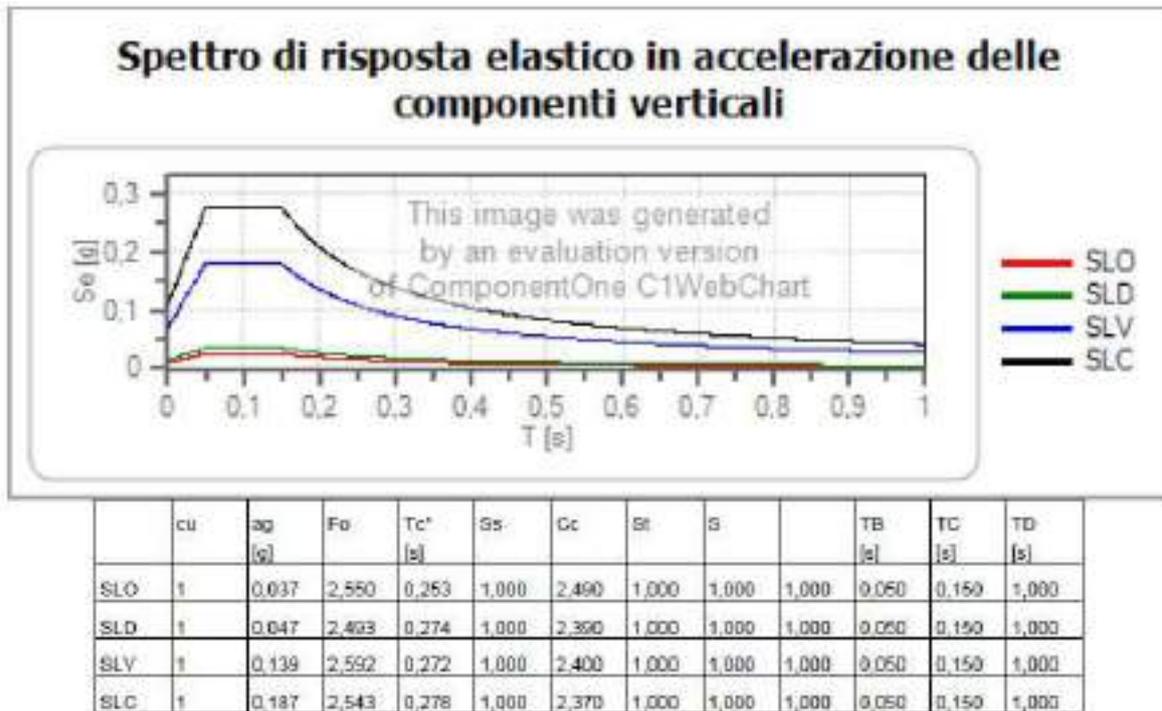
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc' [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,037	2,550	0,253	1,800	2,490	1,000	1,800	1,000	0,210	0,629	1,749
SLD	1	0,047	2,493	0,274	1,800	2,390	1,000	1,800	1,000	0,218	0,654	1,789
SLV	1	0,139	2,592	0,272	1,800	2,400	1,000	1,800	1,000	0,218	0,653	2,155
SLC	1	0,187	2,543	0,278	1,690	2,370	1,000	1,690	1,000	0,220	0,660	2,349



6.1. INDAGINI SISMICHE E RISPOSTA SISMICA LOCALE

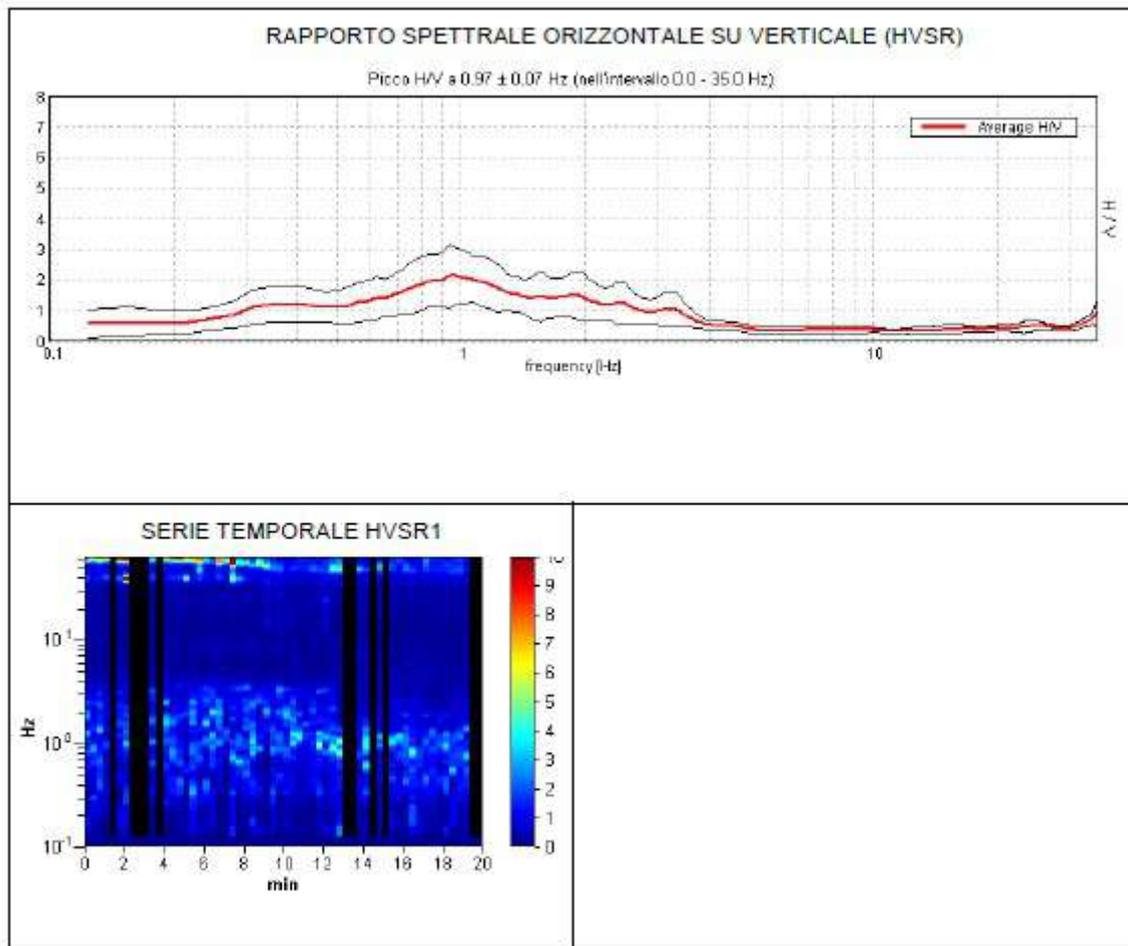
Ai sensi della **OPCM 3274** e successive variazioni e secondo l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'**art. 16, c.1, della L.R. 20/2000** per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", per la caratterizzazione sismica del sito, viene utilizzata l'analisi sismica di III° livello, fatta da colleghi, sia per la redazione della microzonazione sismica di 3° livello comunale, che per interventi puntuali in lotti attigui a quello indagato. *Vengono utilizzati dati* mediante analisi HVSR, eseguito.

6.1.1. HVSR - Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

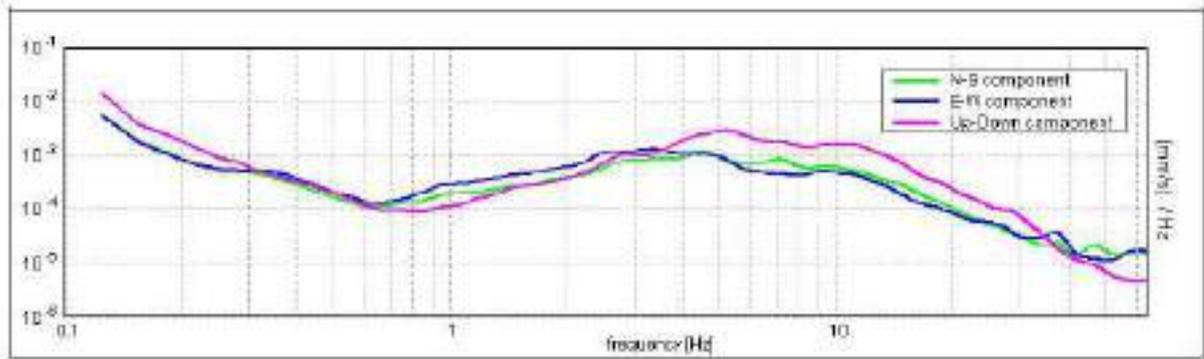
Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da

onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza dicampionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

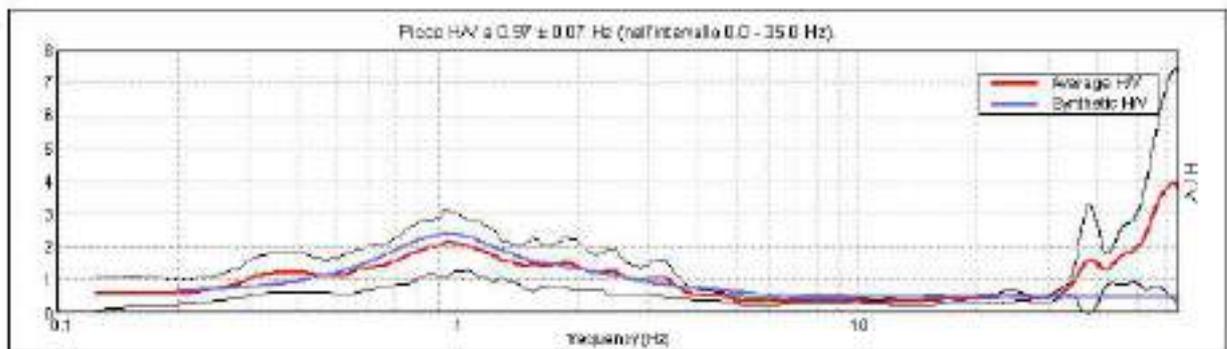
L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla.



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1



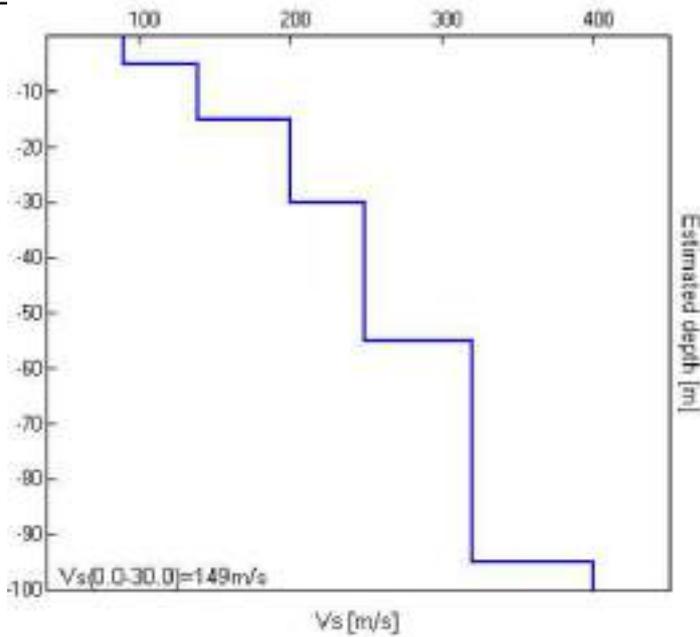
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Modello di sottosuolo per il sito proposto

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
5.00	5.00	90
15.00	10.00	140
30.00	15.00	200
55.00	25.00	250
95.00	40.00	320
inf.	inf.	400

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito



Modello di velocità delle onde di taglio S

L'analisi della curva HVSRI, abbinata a n.1 prova SCPTU eseguita dalla committenza, ha permesso di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame e di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo.....149

Nel primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni a consistenza da molto soffice a media.

La curva HVSRI è caratterizzata da una modesta amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica a basso contrasto d'impedenza con picco H/V a circa 0.9-1.0 Hz (contrasto d'impedenza basso).

Profondità tetto strato	Spessore strato	Tipologia di terreno	Velocità onde S (m/s)
0.00	5.00	limo con argilla "sup"	90.00
5.00	10.00	argilla (edris, 1990)	140.00
15.00	15.00	argilla (edris, 1990)	200.00
30.00	25.00	argilla (edris, 1990)	250.00
55.00	20.00	argilla (edris, 1990)	320.00
75.00	20.00	sabbia secd e iris (mean)	320.00
95.00	55.00	argilla (edris, 1990)	400.00
150.00	30.00	sabbie argilose id 33	400.00
180.00	70.00	sabbie argilose id 33	500.00
250.00	half-space	bedrock	800.00

Tabela 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito in studio

Come accennato in premessa per il calcolo delle accelerazioni e dello scuotimento attesi in superficie sono stati selezionati una serie di accelerogrammi di input, riferiti a siti in roccia ($V_s=800$ m/s), spettro compatibili in media con lo spettro del terremoto target (spettro di riferimento definito su suolo rigido orizzontale di categoria A – NTC 2008 per il sito di interesse).

Lo spettro del terremoto target è stato definito utilizzando i seguenti parametri di ingresso (da Documento Excel SPETTRI-NTC ver 1.0.3 D.M. 14 gennaio 2008 Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni):

- Vita nominale (V_n) struttura: **50 anni**
- Classe uso: **II**
- Coefficiente d'uso (C_u): **1.0**
- Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_r = V_n \cdot C_u$): **50 anni**
- Stato limite considerato: **Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)**
- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{vr}): **10% in 50 anni**
- Periodo di ritorno (T_r): **475 anni**

Utilizzando i parametri riportati sopra è stato definito il terremoto di scenario la cui PGA_0 (*Pick Ground Acceleration*, pericolosità sismica di base del sito di interesse) è risultata pari a $PGA_0 = 0,142$ (g).

I segnali di input sono stati ricavati mediante il software **Rexel** dalla banca dati **ITACA** (Italian Accelerometric Archive) utilizzando i seguenti parametri di ricerca (parametri con i quali è stato ottenuto il set migliore di segnali secondo lo scrivente):

- Intervallo di Magnitudo ricercata: **5.5 (min) – 6.14 (max)**
- Distanza epicentrale ricercata: **0 Km (min) - 30 Km (max)**
- Periodo spettrale: **0.15s-2.0s**

La coppia magnitudo-distanza utilizzata per la ricerca degli accelerogrammi di input è stata scelta tenendo conto di:

- Storia sismica del comune di appartenenza del sito in esame (Database Macrosismico Italiano 2011-DBM11): valore massimo di Intensità macrosismica al sito (comune di **Ferrara**) pari a **I (MCS) = 8**, terremoto con epicentro = **Ferrara (anno 1570)**, $M_w = 5,46 \pm 0,25$, distanza epicentro-sito in studio = **3 Km circa**;
- Carta Sismogenetica d'Italia (ZS9 – INGV) secondo la quale il sito in studio ricade all'interno della **zona sismogenetica 912 (dorsale ferrarese)** alla quale corrisponde una M_w max = **6.14**;
- Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base (Progetto DPCINGV-S1; disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni): coppia Magnitudo-Distanza media rappresentativa pari a $M = 4,950$; $D = 9,580$ Km; $Epsilon = 0,541$;

- Effetti di scuotimento prodotti dal sisma emiliano del maggio 2012 (Mappe di scuotimento legge 122/2012 del 1 agosto 2012): scossa di magnitudo **M=5.9** (data 20/05/2012); Coord. epicentrali: **44.8890N, 11.2280E**; distanza epicentrale dal sito di interesse pari a **D=30 Km circa** (l'intensità Macrosismica in scala Mercalli Modificata "MMI" misurata nella stazione accelerometrica più vicina al sito in studio, quella di Copparo-Coccanile "CPC", è risultata pari a pari a **I = 5.4** effetto moderato).

Di seguito (tabella 2 e fig.3) si riportano le caratteristiche degli **accelerogrammi di input** estratti da **REXEL** utilizzati nel calcolo e i relativi spettri di risposta in accelerazione. La loro media è confrontata con lo spettro di riferimento delle NTC 2008 (spettro target).

Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	Classe sito
270	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	27.0005	0.63325	0.66285	A
103	frilli earthquake 4th shock	15/09/1976	5.9	thrust	16.4207	1.2852	2.449	A
270	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	27.0005	0.63325	0.66285	A
103	frilli earthquake 4th shock	15/09/1976	5.9	thrust	16.4207	1.2852	2.449	A
260	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	10.2931	0.98389	1.096	A
255	gubbio earthquake	29/04/1984	5.6	normal	16.7602	0.49837	0.65775	A
498	umbria-marche 3rd shock	14/10/1997	5.6	normal	22.0159	0.52517	0.62086	A
mean:			5.814266		19.41694	0.833461	1.229316	A

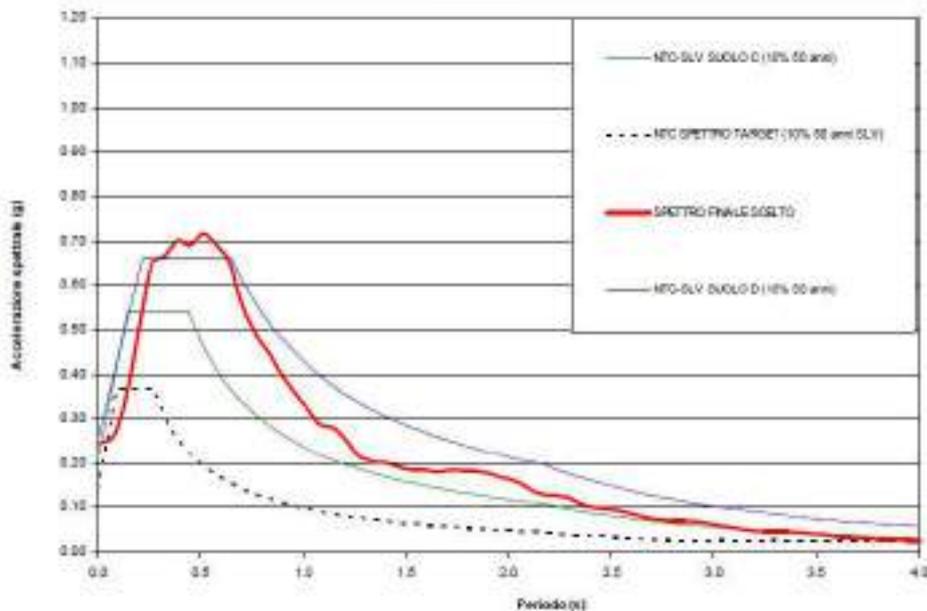
Tabella 2 – Terremoti di riferimento utilizzati nell'analisi (da ITACA – Roxel v3.5 beta)

A partire dagli accelerogrammi di input e dal modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un solo grado di libertà SDOF).

Il calcolo eseguito mediante il software **STRATA** è stato condotto con i seguenti vincoli:

- Variazione delle curve degrado-smorzamento relative ai materiali utilizzati nel calcolo (Darendeli);
- Variazione profondità del bedrock (distribuzione Log Normale; prof. min 250 m – prof. max 300 m; $\sigma = 0.50$);
- n° di profili calcolati: 50;
- n° terremoti input utilizzati: 10;
- n° spettri di risposta finali generali: 500.

RSL: Confronto spettro di risposta finale scelto come rappresentativo del sito e spettri di normativa



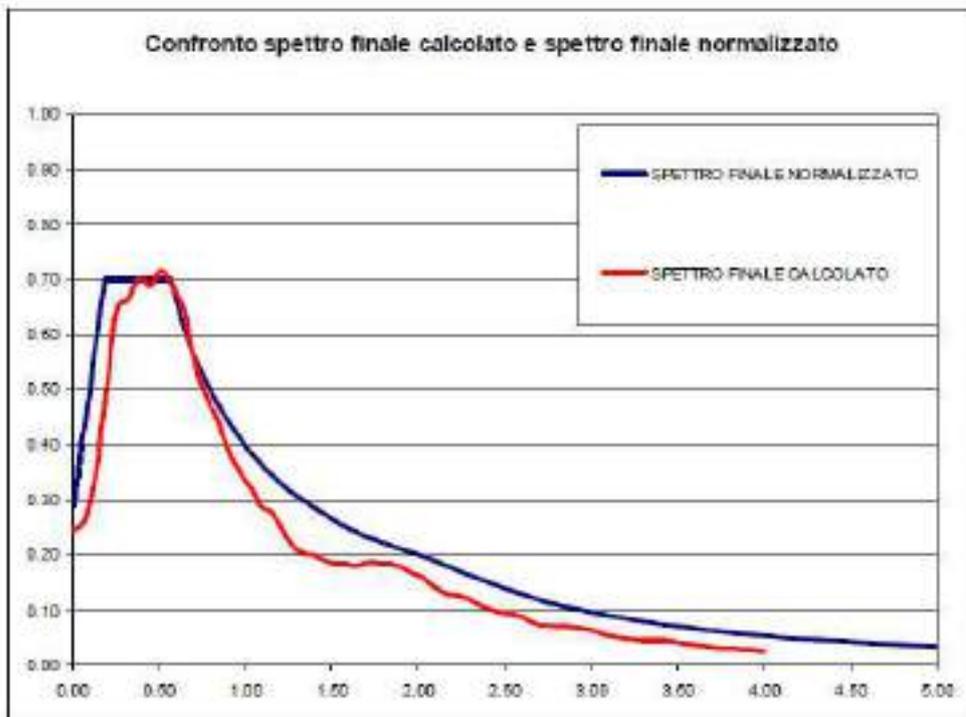
Il valore di PGA dello spettro finale scelto è risultato:

- $PGA = 0.247 \text{ g}$
- $PGA/PGA_0 (F.A.) = 1.74$

Dove:

$P.G.A.$ = *Peak Ground Acceleration*, accelerazione massima orizzontale al sito in superficie;

$P.G.A./P.G.A._0 (F.A.)$ = Rapporto tra accelerazione massima orizzontale al sito in superficie e accelerazione massima orizzontale di base (riferita a suolo rigido orizzontale di categoria A). Questo rapporto rappresenta il fattore di amplificazione sismica (F.A.) del sito in esame;



Spettro di risposta finale normalizzato

Parametri sismici indipendenti del sito investigato:

- Accelerazione massima orizzontale di base = 0.142 g
- F_0 (amplificazione spettrale massima) = 2.593
- $T^*_c = 0.272 \text{ s}$

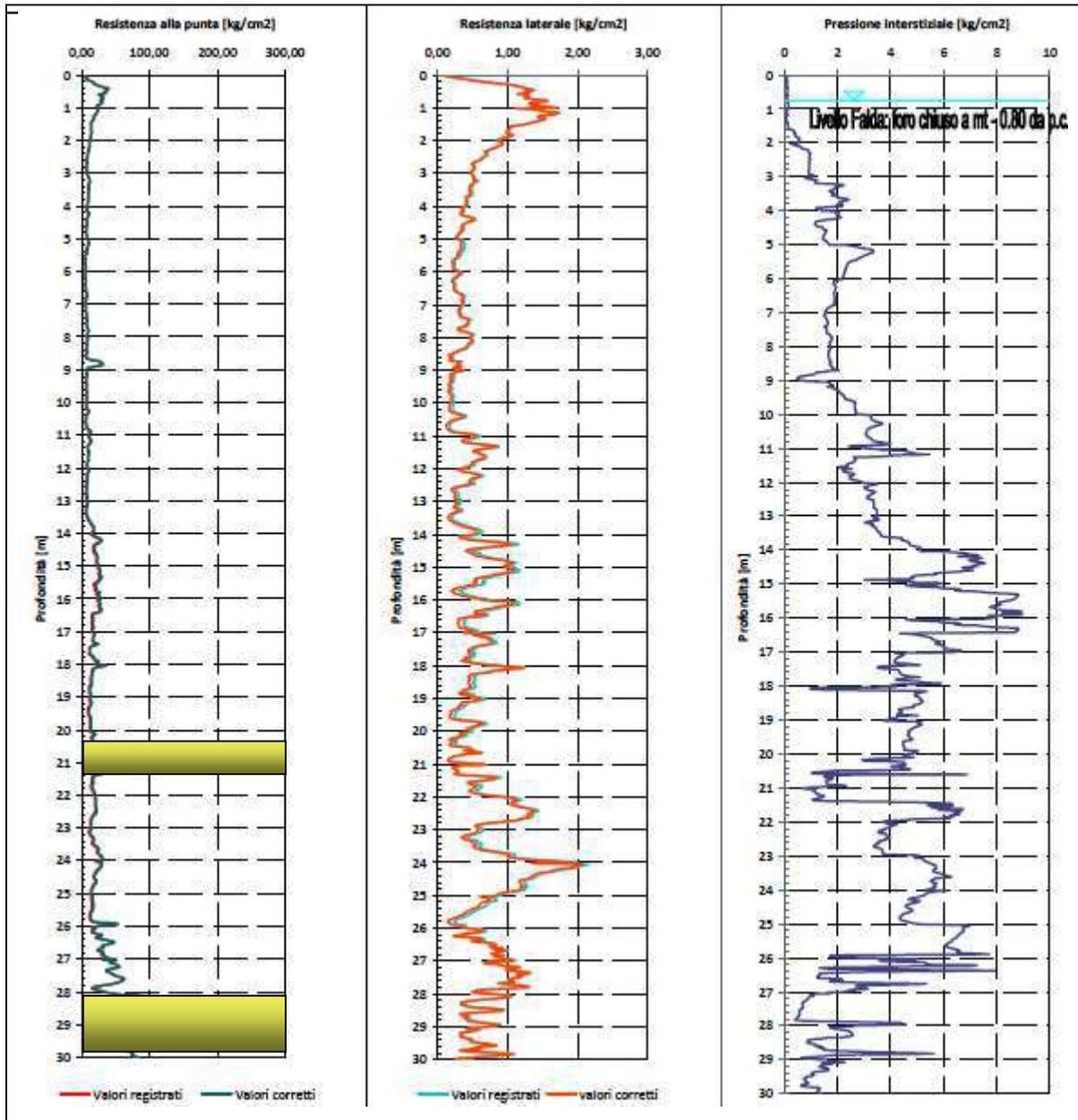
I parametri derivati che definiscono lo spettro normalizzato sono i seguenti:

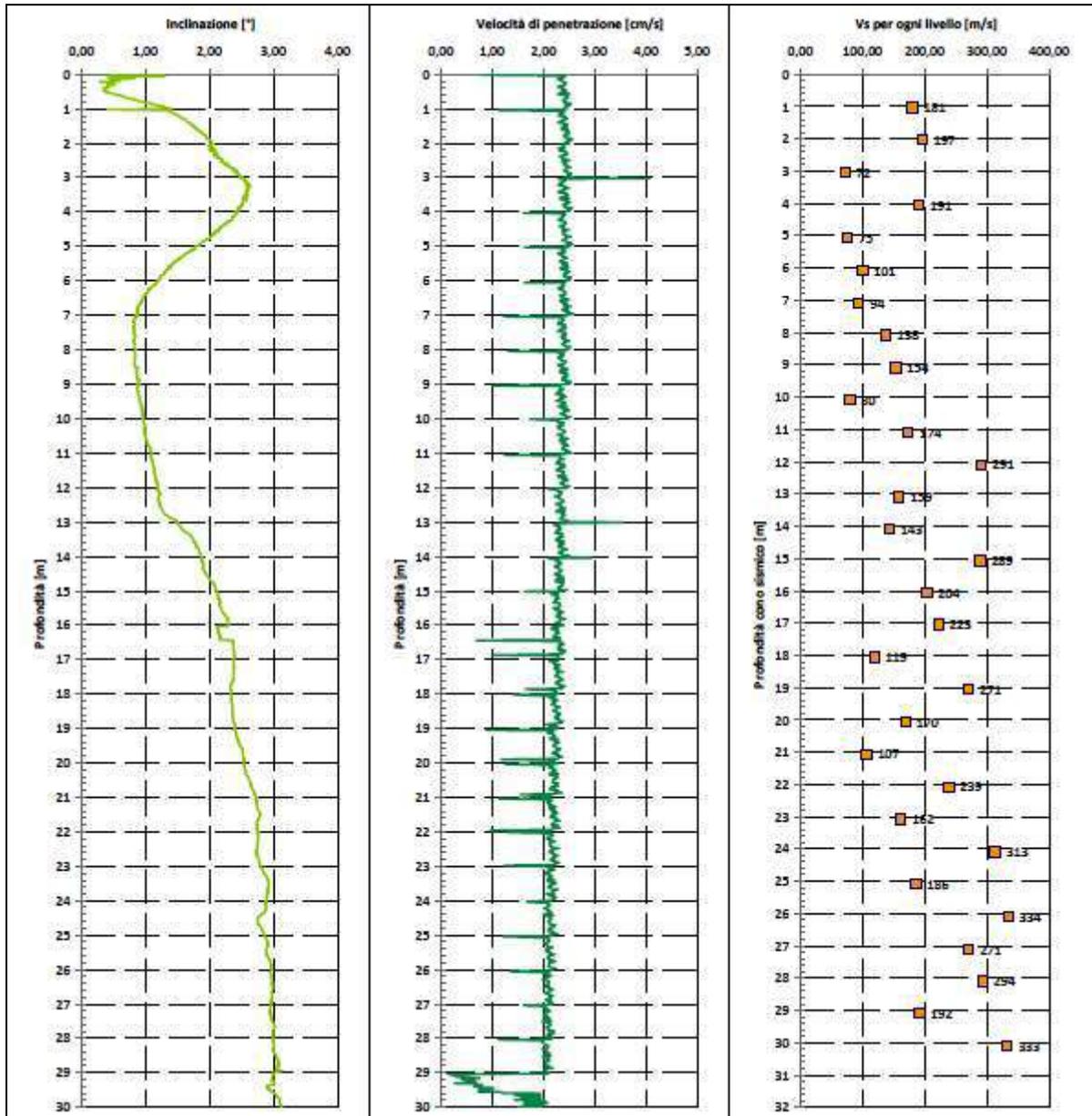
- S (coeff. di amplificazione) = 1.9
- C_c (coefficiente calcolato in funzione dei valori di F_0 e T^*_c) = 2.1
- Smorzamento convenzionale (5%) = 1
- T_s (inizio tratto spettro ad accelerazione costante) = 0.190 s
- T_c (inizio tratto spettro a velocità costante) = 0.571 s
- T_D (inizio tratto spettro a spostamento costante) = 2.168 s

Si riporta di seguito l'elaborazione della SCPTU1

Profondità piezometro m	Profondità sismo sismico m	Distanza fra la sorgente del rumore S - geofono triassiale (L) m	T. d'arrivo dell'onda a S sec	Vel. del suono fra S ed L m/sec	L2-L1 m	t2-t1 sec	Vs per ogni livello (L2 - L1)/(t2 - t1) m/sec
0,00	0,00	0,00	0,0000				
1,00	0,70	1,79	0,0100	179	1,79	0,0100	179
2,00	1,70	2,37	0,0130	182	0,58	0,0030	192
3,00	2,70	3,16	0,0243	130	0,80	0,0113	70
4,00	3,70	4,05	0,0290	140	0,89	0,0047	189
5,00	4,70	4,98	0,0415	120	0,93	0,0125	74
6,00	5,70	5,93	0,0510	116	0,95	0,0095	100
7,00	6,70	6,90	0,0614	112	0,97	0,0104	93
8,00	7,70	7,87	0,0685	115	0,97	0,0071	137
9,00	8,70	8,86	0,0749	118	0,98	0,0064	153
10,00	9,70	9,84	0,0873	113	0,98	0,0124	79
11,00	10,70	10,83	0,0930	116	0,99	0,0057	173
12,00	11,70	11,82	0,0964	123	0,99	0,0034	291
13,00	12,70	12,81	0,1026	125	0,99	0,0062	160
14,00	13,70	13,80	0,1095	126	0,99	0,0069	144
15,00	14,70	14,79	0,1129	131	0,99	0,0034	292
16,00	15,70	15,70	0,1177	134	0,99	0,0048	207
17,00	16,70	16,78	0,1221	137	0,99	0,0044	226
18,00	17,70	17,78	0,1305	136	1,00	0,0084	119
19,00	18,70	18,77	0,1342	140	1,00	0,0037	269
20,00	19,70	19,77	0,1401	141	1,00	0,0059	169
21,00	20,70	20,77	0,1495	139	1,00	0,0034	293
22,00	21,70	21,76	0,1537	142	1,00	0,0042	237
23,00	22,70	22,76	0,1599	142	1,00	0,0062	161
24,00	23,70	23,76	0,1631	146	1,00	0,0032	312
25,00	24,70	24,76	0,1685	147	1,00	0,0034	293
26,00	25,70	25,75	0,1715	150	1,00	0,0030	333
27,00	26,70	26,75	0,1752	153	1,00	0,0037	270
28,00	27,70	27,75	0,1786	155	1,00	0,0034	294
29,00	28,70	28,75	0,1838	156	1,00	0,0052	192
30,00	29,70	29,75	0,1868	159	1,00	0,0030	333

Vs30 = 157 m/sec





6.3. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'area analizzata risulta caratterizzata da un andamento generalmente orizzontale con distribuzione lenticolare delle varie unità litologiche con spesse e ramificate interdigitazioni tra i termini prevalentemente argillosi e quelli invece più sabbioso-limosi.

In queste condizioni, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, possono essere legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche degli orizzonti caratterizzati da una percentuale elevata di materiale limoso e/o sabbioso. Ai fini delle verifiche nei riguardi del potenziale di liquefazione, vengono tralasciati gli strati a prevalente carattere argilloso, mentre vengono presi in considerazione gli intervalli stratigrafici aventi granulometriche ricadenti nel range del limo e della sabbia.

In base alla normativa sismica vigente (OPCM 3274 e 3316), deve essere eseguita la verifica alla liquefazione nei seguenti casi:

- ... la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa....nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omessa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m da p.c.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, quando si accertino almeno una di queste circostanze:

a- Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

b- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

c- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC=frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;

- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;

- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

d- Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

e- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in appositi diagrammi, da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.

f- Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

Relativamente al sito indagato, e confrontando la stratigrafia puntuale con quelle delle altre indagini eseguite a nord, sud ed est. Per le analisi di liquefazione, in base ai diversi approcci è stata considerata una magnitudo pari a 6.14 ed una $P.g.A = 0.25g$. il livello di falda è stato inserito tra - 2.00 e - 2.40 m da p.c.

Considerando il DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, che indica un deposito sabbioso suscettibile di liquefazione quando $F_s < 1$, vengono utilizzate le analisi elaborate con Idriss % Boulanger (2008).

Per l'interpretazione delle indagini che "circondano" il sito indagato, si riporta uno stralcio di premessa dello studio "confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove cpt e cptu" di J.Facciorusso, C.Madiai, G.Vannucchi, dal quale si desume che: "l'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di indagine. Gli effetti bi e tri dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso, può determinare rottura del terreno e "lateral spreading" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione".

Dalla correlazione stratigrafica tra le indagini eseguite e le prove analizzate nella banca dati della RER, del psc-poc-microzonazione sismica comunale, nonché da studi specifici (vedi Stevanin 2016), si può affermare che solamente un piccolo livello liquefacibile, che si trova geograficamente più a nord e ad est del sito indagato), presente tra m 2.80/4.00 e m 3.20/4.80, risulta correlabile e "continuo orizzontalmente" su tutto l'areale, ma in prossimità di via Bologna. Di conseguenza i singoli valori di IPL sono stati valutati tenendo in considerazione l'effettiva continuità latero-verticale.

Per il sito indagato, pertanto con i metodi e le indagini che si sono potuti eseguire nel presente lavoro, si ottiene un rischio di liquefazione basso.

Come dati di input, si sono individuati gli strati con $F_s < 1$ (Idriss & Boulenger, 2008).

SCPTU1

Profondità indagine : m 20

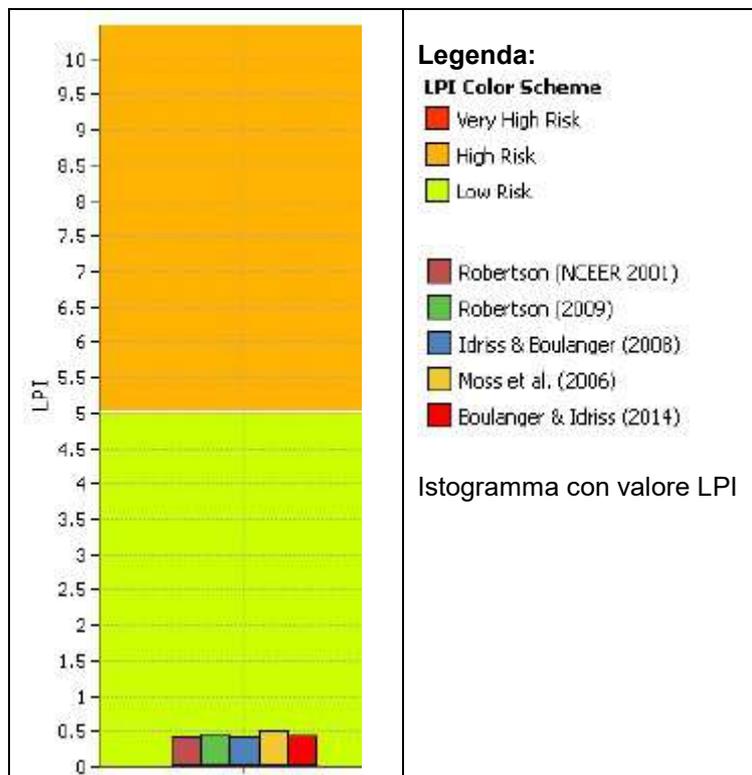
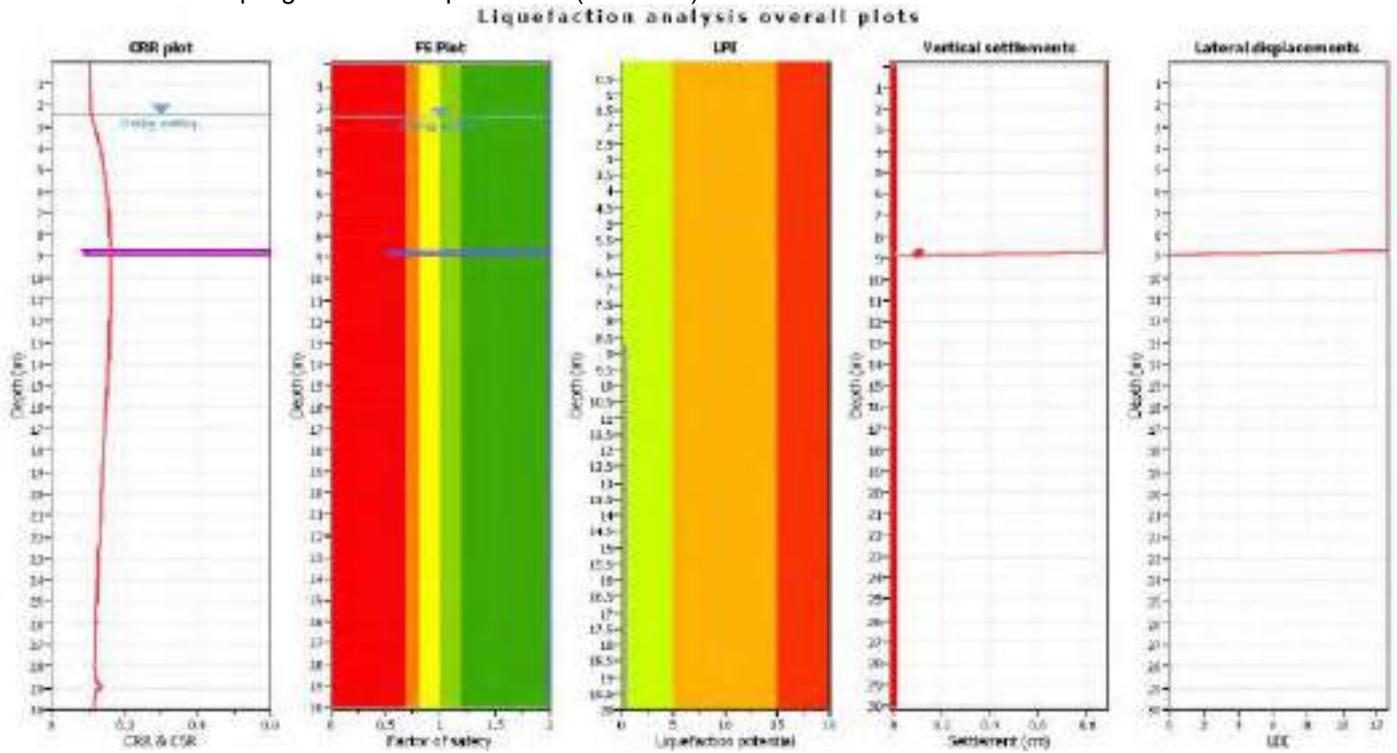
Quote macrostrato : da 0.00 a 20.00 m rispetto p.c. attuale

Profondità strato potenzialmente liquefacibile : da m 8.70 a m 8.90

Spessore strato liquefacibile = m 0.20

Spessore cumulativo 0 m 0.20

Grafico riepilogativo della liquefazione (SCPTU1)



Considerando una magnitudo = 6.14, una P.G.A. = 0.25g ed una quota di falda di circa – 200 cm da p.c. attuale, sulla verticale d'indagine SCPTU1 si ottiene un $0.40 < IPL < 0.50$ con conseguente **rischio di liquefazione basso**.

Relativamente al metodo Idriss 6 Boulanger 82008), come da indicazioni della determina n. 1105 dl 03/2/2014 della Regione Emilia Romagna, in corrispondenza della verticale di indagine SCPTU1 si ha un $IPL = 0.415$

7. RISCHIO DI ALLUVIONAMENTO

In base a quanto riportato nel quadro conoscitivo del PSC 2008-2009, del comune di Ferrara, e nel PTCP della provincia di Ferrara, l'area in esame non risulta essere a rischio di alluvionamento (questo con le cartografie esistenti).

8. CAMPAGNA DI INDAGINI

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOLOGICA DEL SITO, visto il tipo di opera indagata ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, è stato concordato con i Progettisti di utilizzare i dati relativi a n. 1 prova penetrometrica statica (SCPTU1) a m 30 max + n. 1 indagine sismica a stazione singola HVSR. Inoltre si sono utilizzate tutte le indagini eseguite da colleghi per la redazione del psc-poc-microzonazione sismica comunale, nonché studi specifici di aree limitrofe (per confronto) e la banca dati geognostici della RER.

La profondità delle prove cpt è stata programmata al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti fino a quote sufficienti ad ottenere un decremento superiore al 90% dell'incremento di carico indotto in corrispondenza del piano di fondazione per le fondazioni di seguito considerate; tale profondità è stata scelta in fase esecutiva in seguito ai valori di resistenza verificati nel corso della prova stessa e considerando la trasmissione delle tensioni verticali derivanti dalla teoria di Bousinnesq.

9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il *Cone Penetration Test* (o prova CPT) misura la resistenza di un terreno alla penetrazione di una punta conica (punta Begemann) e di un manicotto (*friction jacket cone*) aventi le sottoindicate dimensioni standard: - la punta ha forma conica, avente angolo di 60° e area della superficie di base pari a 10 cm²; - il manicotto per la misura dell'attrito laterale locale ha una superficie laterale di 150 cm², ed è posto immediatamente sopra la punta conica. È stato utilizzato un penetrometro meccanico tipo Deep Drill da 20 tonni di spinta, con misura della resistenza discontinua (caratterizzato da una lettura ogni 20 cm), rispettivamente mediante manometri. Durante l'infissione nel terreno del sistema punta-batteria aste, vengono misurate alternativamente la resistenza alla punta R_p e la resistenza all'attrito laterale R_l , entrambe espresse in Kg/ cm². Dal rapporto R_p/R_l , secondo la teoria di Begemann, è possibile individuare la natura litologica dei terreni interessati dalla prova CPT, in base alla risposta meccanica che ogni singolo strato fornisce.

10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO)

10.1 PROVE PENETROMETRICHE

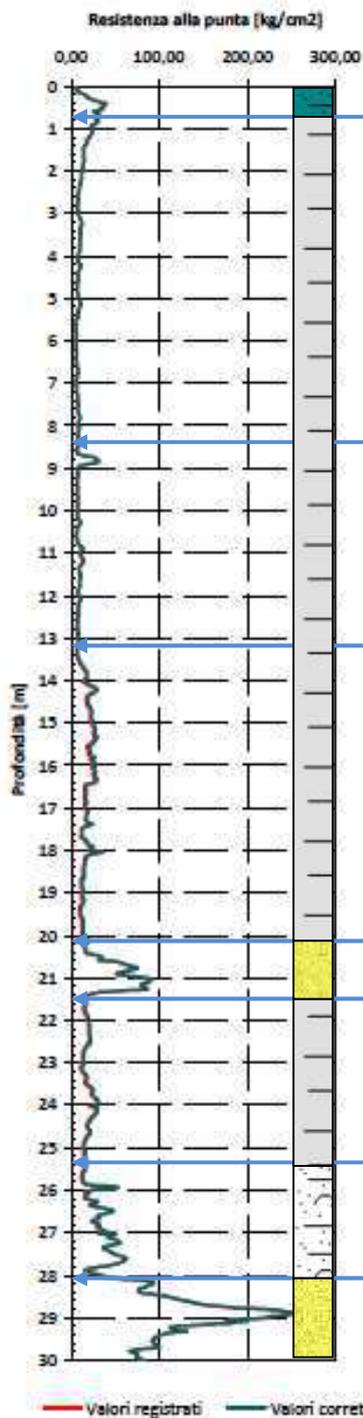
Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del rapporto di Begemann (1965), in corrispondenza della verticale della prova eseguita, così come confermato anche dalla elaborazione delle c_{ptu} regionali e dei sondaggi della banca dati geognostica della Regione Emilia Romagna, indicano la presenza di materiali coesivi tra p.c. e - 20.00 m, per passare poi ad alternanze di argille e sedimenti granulari/coesivi (sabbie e limi sabbiosi) sino a m 28, per poi passare (sino a m 30 fine indagine) a sabbie limose.

Date le modalità di acquisizione dati, i parametri geotecnici hanno esclusivamente validità orientativa come i risultati delle prossime valutazioni con essi eseguite.

Per valutazioni più precise si rimanda ad eventuali idonee analisi di laboratorio da effettuarsi su campioni indisturbati prelevati nel corso di ulteriori sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Precisamente nel corso dell'analisi dei dati sono stati individuati i seguenti intervalli stratigrafici:

diagramma qc/litologia SCPTU1



m 0.00 - 0.86: Argille inorganiche limose, alternate ad argille e limi argillosi, consistenti, moderatamente plastiche

m 0.86 - 8.64: Argille inorganiche talora con intercalazioni di livelli argillo-limosi ed argille organiche torbose – moderatamente consistenti, plastiche

m 8.64 – 13.46: Argille inorganiche, moderatamente consistenti e moderatamente plastiche, talora intercalate da argille limose, con frazione granulare maggiore (limi argillosi e sabbie fini limose) al tetto strato

m 13.46 – 20.36: Argille limose, consistenti, plastiche, alternate ad argille inorganiche con limi argillosi e sporadica presenza di livelli a limi sabbiosi e limi argillosi

m 20.36 – 21.38: Limi sabbiosi e limi argillosi passanti a sabbie limose.

m 21.38 – 25.72: Argille consistenti, moderatamente plastiche, talora limose in alternanza sporadica con limi argillosi

m 25.72 – 28.10: Alternanze Limi sabbiosi e limi argillosi con argille limose e limi argillosi. Talora presenza di livelli di sabbie limose ed argille limose.

m 28.10 – 30.00: Sabbie medio-fini limose, debolmente addensate, alternate a limi argillosi

Tabella litologia-parametri geotecnici - SCPTU1

strato	Profondità (m)	Descrizione litologica	Parametri geotecnici medi
1	0.00 - 0.86	Argille inorganiche limose, alternate ad argille e limi argillosi, consistenti, moderatamente plastiche	$q_c = 24.27 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 1.03 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 2.00 \text{ t/mc}$ $C_u = 1.21 \text{ kg/cm}^2$ $E_u = 906.88 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 48.54 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 2.08 \text{ t/mc}$ $OCR > 9$
2	0.86 - 8.64	Argille inorganiche talora con intercalazioni di livelli argillo-limosi ed argille organiche torbose - moderatamente consistenti, plastiche	$q_c = 8.89 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.55 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.82 \text{ t/mc}$ $C_u = 0.44 \text{ kg/cm}^2$ $E_u = 306.53 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 40.94 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 1.90 \text{ t/mc}$ $OCR > 5.48$
3	8.64 - 13.46	Argille inorganiche, moderatamente consistenti e moderatamente plastiche, talora intercalate da argille limose, con frazione granulare maggiore (limi argillosi e sabbie fini limose) al tetto strato	$q_c = 8.37 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.36 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.80 \text{ t/mc}$ $C_u = 0.42 \text{ kg/cm}^2$ $E_u = 263.59 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 39.52 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 1.88 \text{ t/mc}$ $OCR = 1.85$
4	13.46 - 20.36	Argille limose, consistenti, plastiche, alternate ad argille inorganiche con limi argillosi e sporadica presenza di livelli a limi sabbiosi e limi argillosi	$q_c = 16.77 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.60 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.92 \text{ t/mc}$ $C_u = 0.84 \text{ kg/cm}^2$ $E_u = 557.31 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 47.42 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 2.00 \text{ t/mc}$ $OCR = 2.16$
5	20.36 - 21.38	Limi sabbiosi ed alternanze di limi argillosi/sabbie limose passanti a sabbie limose. Grado di addensamento basso.	$q_c = 58.36 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.36 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$ $Dr = 11.09\%$ $OCR < 0.5$ $\gamma_{sat} = 2.20 \text{ t/mc}$ $\Phi = 32.01^\circ$ $E_{ed} = 51.28 \text{ Kg/cm}^2$
6	21.38 - 25.72	Argille consistenti, moderatamente plastiche, talora limose in alternanza sporadica con limi argillosi	$q_c = 17.20 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.97 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.92 \text{ t/mc}$ $C_u = 0.86 \text{ kg/cm}^2$ $E_u = 548.72 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 46.96 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 2.00 \text{ t/mc}$ $OCR = 2.59$
7	25.72 - 28.10	Alternanze Limi sabbiosi e limi argillosi con argille limose e limi argillosi. Talora presenza di livelli di sabbie limose ed argille limose.	$q_c = 35.05 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.82 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma \text{ (coes)} = 2.05 \text{ t/mc}$ $\gamma_{sat} \text{ (coes)} = 2.13 \text{ t/mc}$ $\gamma \text{ (inco)} = 1.80 \text{ t/mc}$ $\gamma_{sat} \text{ (inco)} = 2.10 \text{ t/mc}$ $C_u = 1.75 \text{ Kg/cm}^2$ $Dr = 5\%$ $\Phi = 28.70^\circ$ $OCR \text{ (coes)} = 1.91$ $OCR \text{ (inco)} < 0.5$ $E_u = 1205.43 \text{ Kg/cm}^2$ $E_{ed} = 70.10 \text{ Kg/cm}^2$ $E_d = 38.99 \text{ Kg/cm}^2$
8	28.10 - 30.00	Sabbie medio-fini limose, debolmente addensate, alternate a limi argillosi	$q_c = 124.06 \text{ Kg/cm}^2$ $f_s = 0.57 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$ $Dr = 23\%$ $OCR < 0.5$ $E_{ed} = 7.32 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_{sat} = 2.20 \text{ t/mc}$ $\Phi = 34.69^\circ$

Legenda parametri geotecnici tanella precedente:

- TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio (ϕ): Angolo di resistenza al taglio (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Densità relativa (D_r %): Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Modulo Edometrico (E_d): Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Peso unità di Volume Gamma:

- Peso unità di Volume Gamma (t/m^3) (Meyerhof)

- Peso unità di Volume Gamma saturo (t/m^3) (Meyerhof)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione: Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

- TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata (C_u): Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Modulo Edometrico (E_{ed}) - Metodo generale del modulo edometrico.

Modulo di deformazione non drenato - Modulo di deformazione non drenato E_u (Cancelli ed altri 1980)

Peso unità di Volume Gamma

- Peso unità di Volume terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

- Peso unità di Volume saturo terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In base al presente documento non sussistono, allo stato attuale e secondo le indagini che si sono potute eseguire nel presente lavoro, rischi geologici o naturali sul sito indagato che possano precludere alla realizzazione dell'opera in progetto..

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA E SISMICA DEL SITO, visto il tipo di opera analizzata ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, è stato concordato con i Progettisti di eseguire una serie di indagini in sito (SCPTU1 + HVSR), finalizzate alla caratterizzazione geologica, sismica e modellizzazione geotecnica locale.

La falda superficiale, al momento della redazione del presente lavoro, stazionava mediamente a quota -2,00 m dap.c. (Misura che però risente di un periodo di almeno 1 mese di scarsa piovosità).

Le caratteristiche litostratigrafiche in corrispondenza della verticale della prova eseguita, così come confermato anche dalla elaborazione delle cptu regionali e dei sondaggi della banca dati geognostica della Regione Emilia Romagna, indicano la presenza di materiali coesivi tra p.c. e - 20.00 m, per passare poi ad alternanze di argille e sedimenti granulari/coesivi (sabbie e limi sabbiosi) sino a m 28, per poi passare (sino a m 30 fine indagine) a sabbie limose. Per dettagli vedere da pag. 51 a pag. 53 ed allegati.

Dal punto di vista sismico (NTC 2018) in base a dati bibliografici ed indagini sismiche (Remi + Masw + HVSR) eseguite nell'area indagata, come caratterizzazione sismica di III° livello, il sito indagato è contraddistinto (cautelativamente) da *suoli tipo D*.

Si possono ricavare i seguenti dati:

- $V_s 30 = 149-157$ m/s

- **Classificazione terreno = D**

- PGA su suolo rigido = 0,158g (ma in base agli ultimi terremoti del 20 e del 29/05/2012, si sono registrati valori di oltre 0,25 da confermare)

- Fattore di Amplificazione FA = 1,5-1,6

- Periodo naturale T in condizioni Free- Field, T = 0,71 s

- Magnitudo massima attesa in zona sismogenetica 912, Mw = 6,14

- Magnitudo massima dal catalogo dei terremoti storici Mw = 5,58

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s = 1.8$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s = 2.5$

Considerando una magnitudo = 6.14, una P.G.A. = 0.25g ed una quota di falda di circa - 200 cm da p.c. attuale, sulla verticale d'indagine SCPTU1 si ottiene un $0.40 < IPL < 0.50$ con conseguente **rischio di liquefazione basso**.

Relativamente al metodo Idriss 6 Boulanger 82008), come da indicazioni della determina n. 1105 dl 03/2/2014 della Regione Emilia Romagna, in corrispondenza della verticale di indagine SCPTU1 si ha un $IPL = 0.415$

Il progettista strutturista, che eseguirà la relazione geotecnica (come da NTC 2018), deve avvalersi della relazione geologica, in cui sono riportate le caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche del sito.

Il modello geologico e geotecnico elaborato nella presente relazione è stato eseguito sulla base delle indagini geognostiche che si sono potute eseguire, in proporzione ed in relazione: alla disponibilità economica della committenza; al tipo di opera e/o intervento indicato dal Progettista; al volume significativo del terreno coinvolto da tale opera.

Qualora nella relazione geotecnica (da redigere a carico del Progettista) si accerti la necessità, in base ad un approccio prestazionale di progettazione (come indicato nelle NTC 2018), di approfondire e migliorare i dati geologici-geotecnici, si dovranno eseguire ulteriori indagini geognostiche integrative a quelle utilizzate per la redazione del presente documento.

Argenta, il 13 novembre 2020

Dr.Geol. Matteo Pollini



The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to read 'M. Pollini'. To the right of the signature is a circular professional stamp. The stamp contains the text: 'ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA', 'DOTT. MATTEO POLLINI', 'GEOLOGO SEZA', and 'N. 1825 ALBO P.'.

Seguono allegati

Elaborazione geostru Static Probing

SCPTU1 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Terzaghi	1,21
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Terzaghi	0,44
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Terzaghi	0,42
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Terzaghi	0,84
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Terzaghi	0,86
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Terzaghi	1,75

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Metodo generale del modulo Edometrico	48,54
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Metodo generale del modulo Edometrico	40,94
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Metodo generale del modulo Edometrico	39,52
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Metodo generale del modulo Edometrico	47,42
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Metodo generale del modulo Edometrico	46,96
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Metodo generale del modulo Edometrico	70,10

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Cancelli 1980	906,88
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Cancelli 1980	306,53
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Cancelli 1980	263,59
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Cancelli 1980	557,31
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Cancelli 1980	548,72
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Cancelli 1980	1205,43

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Piacentini Righi 1978	5,48
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Piacentini Righi 1978	1,85
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Piacentini Righi 1978	2,16
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Piacentini Righi 1978	2,59
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Piacentini Righi 1978	1,91

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Meyerhof	2,00
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Meyerhof	1,82
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Meyerhof	1,80
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Meyerhof	1,92
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Meyerhof	1,92
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Meyerhof	2,05

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,86	24,27	1,03	0,09	0,09	Meyerhof	2,08
Strato 2	8,64	8,89	0,55	0,95	0,72	Meyerhof	1,90
Strato 3	13,46	8,37	0,36	2,21	1,34	Meyerhof	1,88
Strato 4	20,36	16,77	0,60	3,36	1,91	Meyerhof	2,00
Strato 6	25,72	17,20	0,97	4,68	2,57	Meyerhof	2,00
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Meyerhof	2,13

SCPTU1 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Jamiolkowski 1985	11,09
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Jamiolkowski 1985	5,00
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Jamiolkowski 1985	23,00

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Schmertmann	32,01
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Schmertmann	28,70
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Schmertmann	34,69

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Robertson & Campanella da Schmertmann	51,28
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Robertson & Campanella da Schmertmann	38,99
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Robertson & Campanella da Schmertmann	78,32

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Larsson 1991 S.G.I.	<0,5
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Larsson 1991 S.G.I.	<0,5
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Larsson 1991 S.G.I.	<0,5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Meyerhof	1,90
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Meyerhof	1,80
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Meyerhof	1,90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 5	21,38	58,36	0,36	4,14	2,30	Meyerhof	2,20
Strato 7	28,10	35,05	0,82	5,36	2,91	Meyerhof	2,10
Strato 8	30,00	124,06	0,57	5,81	3,15	Meyerhof	2,20