



2					
1					
0	08/03/2023	GEOGROUP	N. Troiano	D. Corrente	Emissione
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)
FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT) DIREZIONE INGEGNERIA - PROGETTAZIONE IMPIANTI ENERGIA					
DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION) REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					
IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER) A944W401			WBS R.1910.10.10.00058		CODICE CUP (CUP CODE) H32E22000630004
 Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU <i>Progetto finanziato dal PNRR</i>			CODICE DOCUMENTO (CODE) CX00RL0001		N° COMMESSA (JOB N.) N12001013951
			ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID)		NOME FILE (FILE NAME)
 HERA S.p.A. Holding Energia Risorse Ambiente Viale Carlo Berli Pichat 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 fax 051.287.525 www.gruppohera.it		 Società del Gruppo Hera		DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION) RELAZIONE GEOLOGICA	
		 GEOLOGIA E AMBIENTE	SCALA (SCALE) --	N° FOGLIO (SHEET N°) 1	DI (LAST) 60

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	2	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE	6
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
2.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
2.3	INQUADRAMENTO PERICOLOSITÀ SISMICA	8
2.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
2.5	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	14
2.6	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	16
2.7	USO DEL SUOLO	16
3	INQUADRAMENTO RISPETTO AI PIANI SOVRAORDINATI.....	18
3.1	PUG COMUNE DI BOLOGNA	18
3.1.1	RISORSE IDRICHE E ASSETTO IDROGEOLOGICO	18
3.2	PSC COMUNE DI CASTELMAGGIORE.....	19
3.2.1	TAVOLA DEI VINCOLI	19
3.3	STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI BOLOGNA	21
3.4	STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI CASTEL MAGGIORE	22
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	23
5	MODELLO GEOLOGICO	24
6	MODELLO GEOTECNICO/IDROGEOLOGICO	26
6.1	INTERPRETAZIONE ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO	26
6.2	SUPERFICIE PIEZOMETRICA.....	27
6.3	MODELLO GEOTECNICO.....	28
7	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	31
7.1	IDENTIFICAZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	31
7.2	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE RSL.....	32
7.2.1	MODELLO INIZIALE	33
7.2.2	RISULTATI OTTENUTI	38
8	STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI CO-SISMICI.....	50
8.1	STIMA DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE LPI (DGR 630/19).....	50
8.2	CEDIMENTI POST-SISMICI (DGR 630/19).....	52
9	CONCLUSIONI	59

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	3	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

TAVOLE

Tav. 1 - Inquadramento topografico Scala 1:5000

Tav. 2 - Inquadramento aerofotografico Scala 1:2000

Tav. 3 – Inquadramento geologico Scala 1:5000

Tav. 4 – Ubicazione indagini Scala 1:600

Tav. 5 – Interpretazione stratigrafica

Tav. 6 - Parametri geotecnici

ALLEGATO


All.1 – Prove penetrometriche statiche CPTU

All.2 – Stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo

All.3 – Indagini geofisiche per la caratterizzazione sismica del sito

All.4 – Analisi di laboratorio geotecnico

All. 5 – Verifica della suscettività del sito alla liquefazione dei terreni incoerenti

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	4	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					


1 PREMESSA

Il presente elaborato viene predisposto a supporto della progettazione degli interventi che definiscono l'ammodernamento e ampliamento dell'impianto di valorizzazione e smaltimento fanghi presso il depuratore di Bologna. L'area di intervento è collocata all'interno dell'intero complesso del depuratore di Bologna denominato I.D.A.R., in Via William Shakespeare. Le aree di intervento risultano ubicate principalmente all'interno del territorio comunale di Bologna (Area A e B), fatta eccezione per l'area C che ricade all'interno del Comune di Castelmaggiore.

Il presente elaborato contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica derivante dalla sintesi dei risultati delle analisi e delle indagini eseguite nell'area di interesse a supporto della progettazione ingegneristica delle opere in progetto, in conformità alla normativa nazionale NTC 2018 e relative normative regionali (Regione Emilia-Romagna).




Fig. n. 1.1 – Inquadramento area di studio (GOOGLE EARTH)

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	5	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'elaborato prodotto viene redatto in ottemperanza alle seguenti disposizioni normative:

- ☐ Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- ☐ DGR n. 1373 del 2011 Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. n. 19 del 2008;
- ☐ D.L. 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- ☐ Circolare CSLLPP n°7 del 21.01.2019 - "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- ☐ AGI, marzo 2005, "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida";
- ☐ Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";
- ☐ Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Raccomandazione sui pali di fondazione";
- ☐ D.M. 11 Marzo 1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- ☐ UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7, "Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali";
- ☐ UNI EN 1998-5:2005 Eurocodice 8, "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici";

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	6	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di intervento risulta collocata in un settore della media pianura, collocata in corrispondenza del settore di chiusura delle conoidi alluvionali deposte dall'azione fluviale del Fiume Reno durante l'ultimo massimo glaciale.

Dalla consultazione della cartografia regionale in materia geologica, della quale in Tavola n. 3 se ne riporta uno stralcio, l'area di intervento risulta collocata in corrispondenza di depositi quaternari ascrivibili all'unità AES8 – Subsintema di Ravenna: tale unità risulta costituita da ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsintema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa.

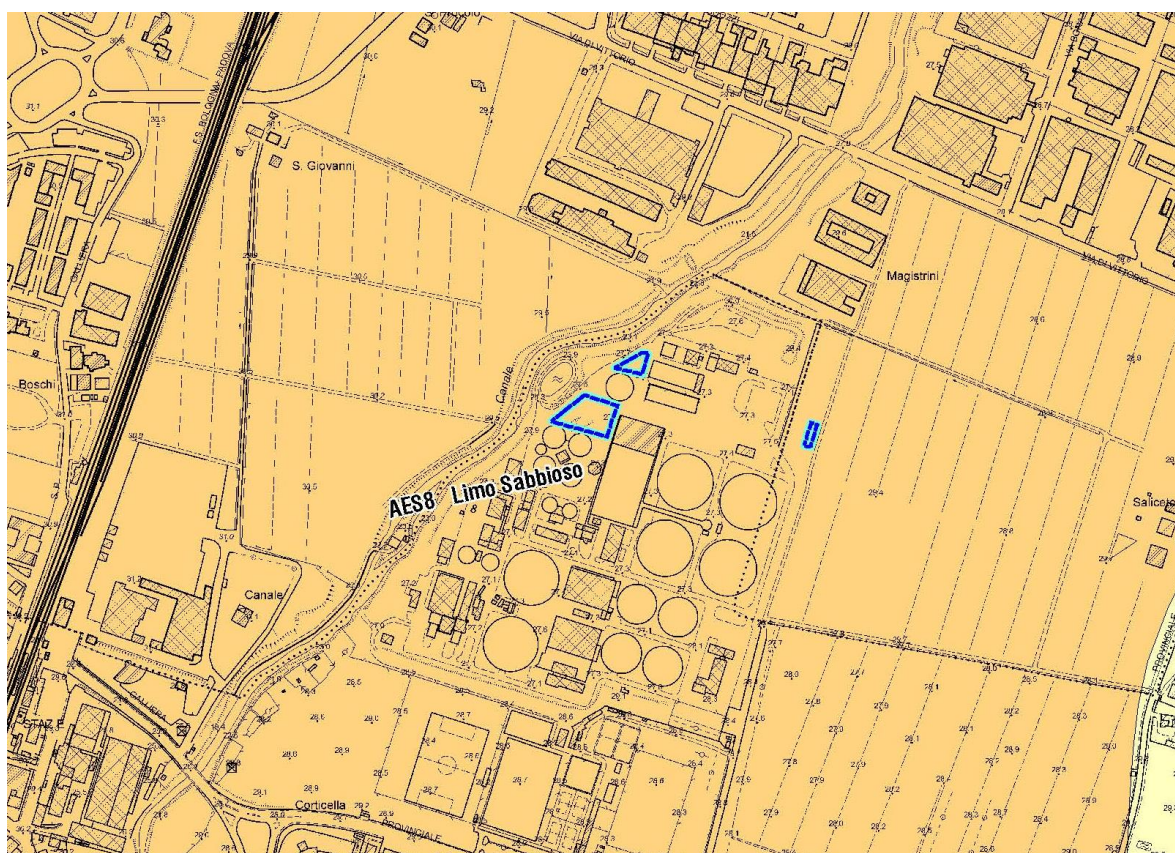



Fig. n. 2.1 – Inquadramento geologico (Cartografia geologica RER)

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	7	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

Come identificabile in tutto il settore della pianura padana, i depositi quaternari ricoprono depositi più antichi depositi in seguito a varie trasgressioni marine che hanno colmato l'intero bacino. Riguardo alla stratigrafia media relativamente al modello geologico profondo è possibile fare riferimento alla carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna. Tale elaborato, attraverso la definizione di sezioni profonde (Fig. 2.1), definisce l'assetto delle varie unità geologiche che definiscono il substrato geologico di riferimento.

In corrispondenza dell'area di intervento è possibile derivare uno spessore medio della coltre alluvionale (Pt2-Ol e Pt1) di circa 200/300 metri, poggianti sul substrato pliocenico (P) parzialmente deformato che deriva spessori nell'ordine dei 2/2.5 km, a sua volta posto al tetto del substrato deformato miocenico (Me e M). Risulta quindi possibile definire la presenza di due principali substrati geologici, uno recente e poco deformato dalla tettonica definito dalla sequenza Pliocenica, uno più antico e maggiormente deformato ascrivibile al periodo Miocenico.

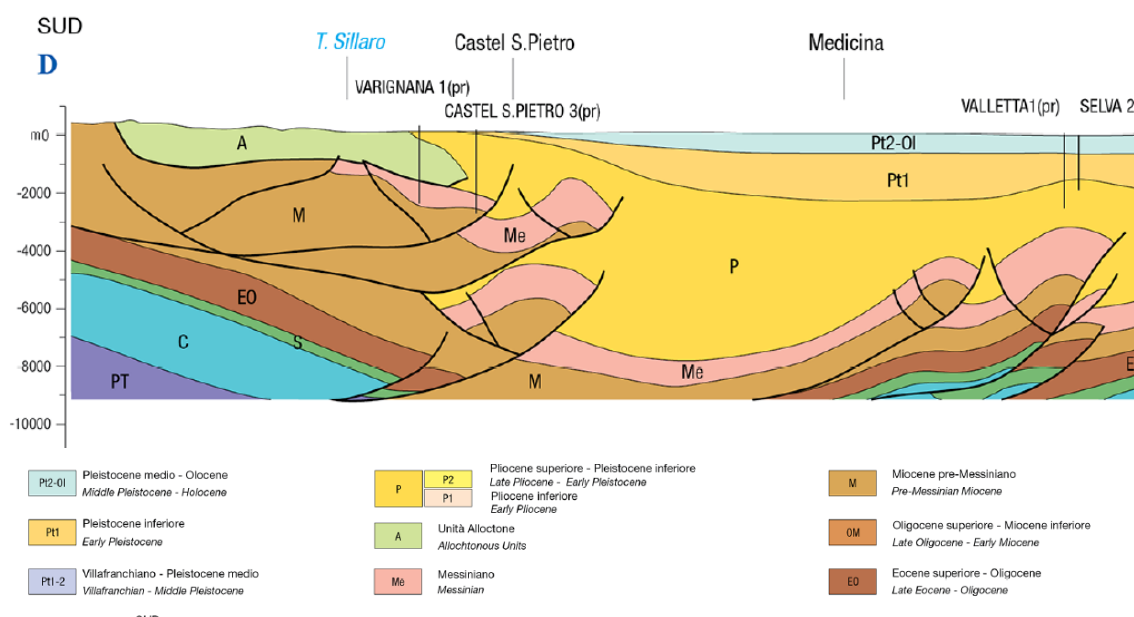



Fig. n. 2.2 – Stralcio della sezione D-D' della tratta dalla carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	8	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

2.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di interesse si inserisce all'interno di una porzione di territorio altamente urbanizzata e estremamente assoggettata all'attività antropica di rimodellamento del suolo e sottosuolo. Per tale motivo in corrispondenza dell'area non si evidenziano particolari morfologie riconducibili a fenomeni e processi geomorfologici degni di nota. Sul limite OVEST dell'area è presente l'alveo del Canale Navile, che scorre approfondito rispetto la quota media del piano campagna, denotando particolari morfologie di incisione del suolo (scarpate fluviali). La morfologia del tratto fluviale risulta principalmente rettilinea, probabilmente modificata a seguito di rettifica del tracciato ad opera dell'attività antropica.

2.3 INQUADRAMENTO PERICOLOSITÀ SISMICA

Per l'inquadramento sismo tettonico dell'area di interesse si è fatto riferimento ai seguenti database di dominio pubblico:

- CPT15 – Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida et al., 2016; <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>);
- DBMI15 – Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (Locati et al., 2016; <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>);
- DISS versione 3.2.1 – Database of Individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2018; <http://diss.rm.ingv.it/diss/>);
- CFTI5Med – Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2018, <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>);
- Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (Gruppo di lavoro MPS, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>);
- Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004); <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>)

La sismicità storica del Comune di Bologna è stata ricostruita attraverso la consultazione del Database Macrosismico Italiano DBMI15. La consultazione di tale archivio ha individuato n. 207 eventi sismici per la località di Bologna.

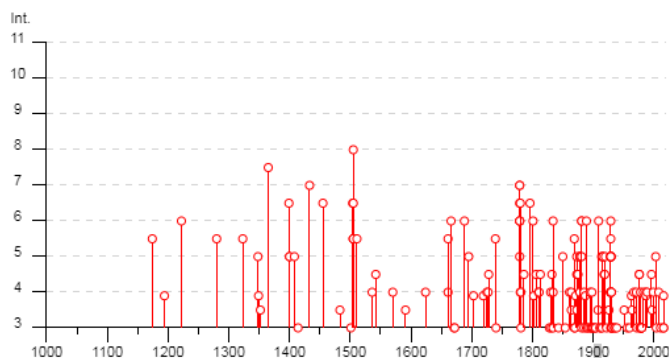



Fig. n. 2.3 – Valori di intensità macrosismica MCS registrati per la località di Bologna

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	9	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

L'analisi evidenzia come l'evento che rappresenta il massimo valore di intensità MCS risulta relativa al sisma con area epicentrale "Bolognese" dell'anno 1505: per tale evento si registra un valore di intensità pari a 8 e una magnitudo pari a 5.62. Il secondo evento, per grado di intensità, risulta relativo al sisma con area epicentrale "Bologna" del 1365 avente pari intensità macrosismica e un valore di magnitudo pari a 5.33. In riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9, per l'area in oggetto, si identifica una magnitudo di riferimento pari a 6.14.

In riferimento alla Pericolosità Sismica di riferimento (Gruppo di lavoro MPS, 2004) e al territorio comunale di Bologna si evince un'accelerazione massima attesa su suolo rigido compresa tra 0.150 g e 0.175 g (probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

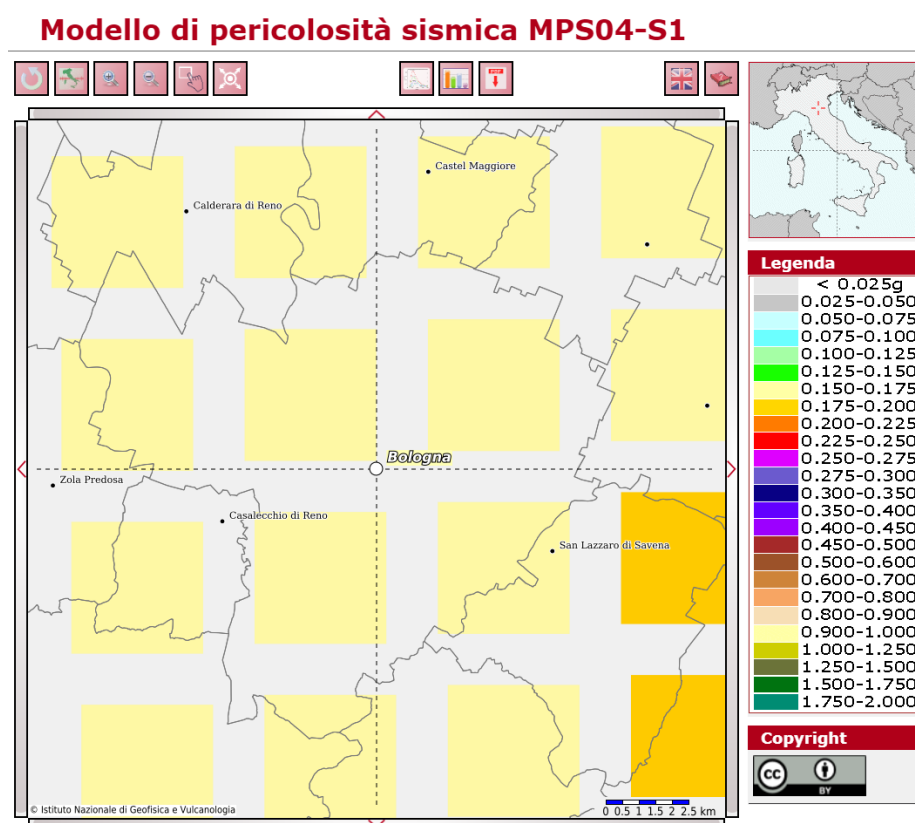



Fig. n. 2.4 – Mappa di pericolosità sismica

2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore di circa 400-500 m e, in minima parte, da depositi marino marginali. La distribuzione di questi corpi sedimentari nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione (Fig. 2.3) che attraversa tutta la pianura da Sud a Nord, ovvero dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	10	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

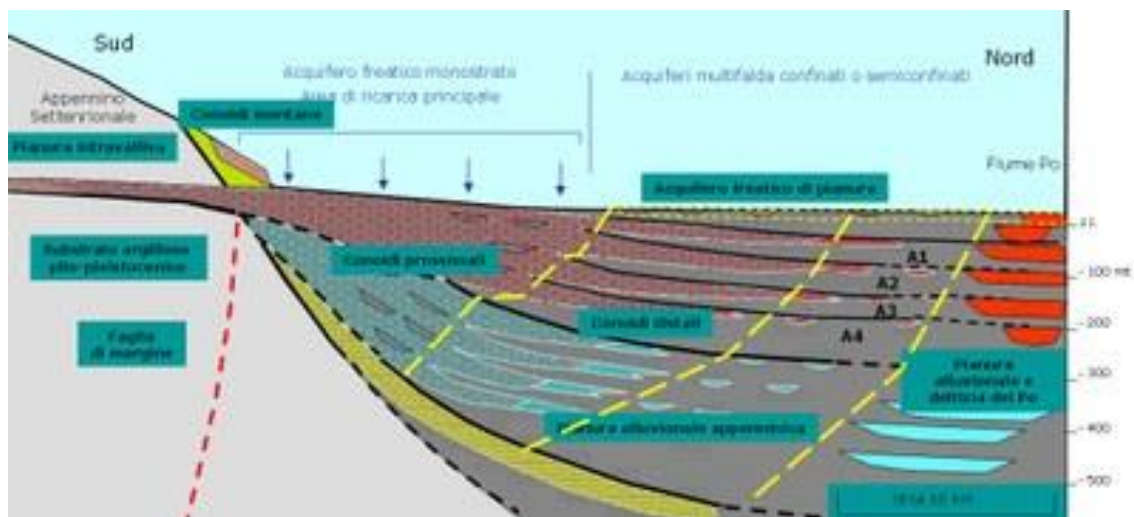



Fig. n. 2.5 – Sezione schematica dei sistemi acquiferi della pianura Padana;

L'area in analisi è posta in corrispondenza del settore interessato dalle conoidi alluvionali: in tali settori sono presenti sedimenti che i fiumi depositano all'uscita dalla valle, dove il corso d'acqua non è più confinato lateralmente e vi è una brusca diminuzione della pendenza topografica. Nella porzione più vicina al margine, conoidi prossimali, allo sbocco del fiume nella pianura, prevalgono le ghiaie grossolane e frequentemente affioranti, che proseguono nel sottosuolo con spessori anche di alcune centinaia di metri, mentre i depositi fini sono rari e discontinui; procedendo verso la pianura aumenta invece la presenza di depositi fini che si alternano a quelli ghiaiosi (qui sepolti) in corpi tabulari molto estesi, conoidi distali. Dal punto di vista idrogeologico le conoidi alluvionali, con i loro depositi molto permeabili e molto spessi, sono i principali acquiferi della pianura emiliano – romagnola. In particolare, le conoidi prossimali sono sede di un esteso acquifero freatico ricaricato direttamente dalle acque superficiali dei fiumi e dalle piogge, mentre le conoidi distali costituiscono un complesso sistema di acquiferi multistrato con falde confinate e semi-confinate.

Con la pubblicazione del volume "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato in collaborazione ad ENI-AGIP nel 1998 e la realizzazione del progetto di Cartografia Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (progetto CARG), il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia – Romagna ha proposto una nuova stratigrafia valida a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo (Fig. 2.6). I depositi della pianura sono stati suddivisi in tre nuove unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C: il Gruppo Acquifero A è il più recente ed ha un'età che va dall'Attuale sino a 350.000 – 450.000 anni; il Gruppo Acquifero B, intermedio, va da 350.000 – 450.000 anni sino a 650.000 circa; il Gruppo Acquifero C è il più vecchio e va da 650.000 sino a oltre 3 milioni di anni. Il Gruppo Acquifero A ed il Gruppo Acquifero B sono costituiti principalmente da depositi alluvionali ed in particolare dalle ghiaie delle conoidi alluvionali, dai depositi fini di piana alluvionale e dalle sabbie della piana del Fiume Po; il gruppo acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali ed è costituito principalmente da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini. In prossimità dei principali sbocchi vallivi il gruppo acquifero C contiene anche delle ghiaie intercalate alle sabbie, che costituiscono i delta conoide dei fiumi appenninici durante il Pleistocene inferiore e medio.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	11	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

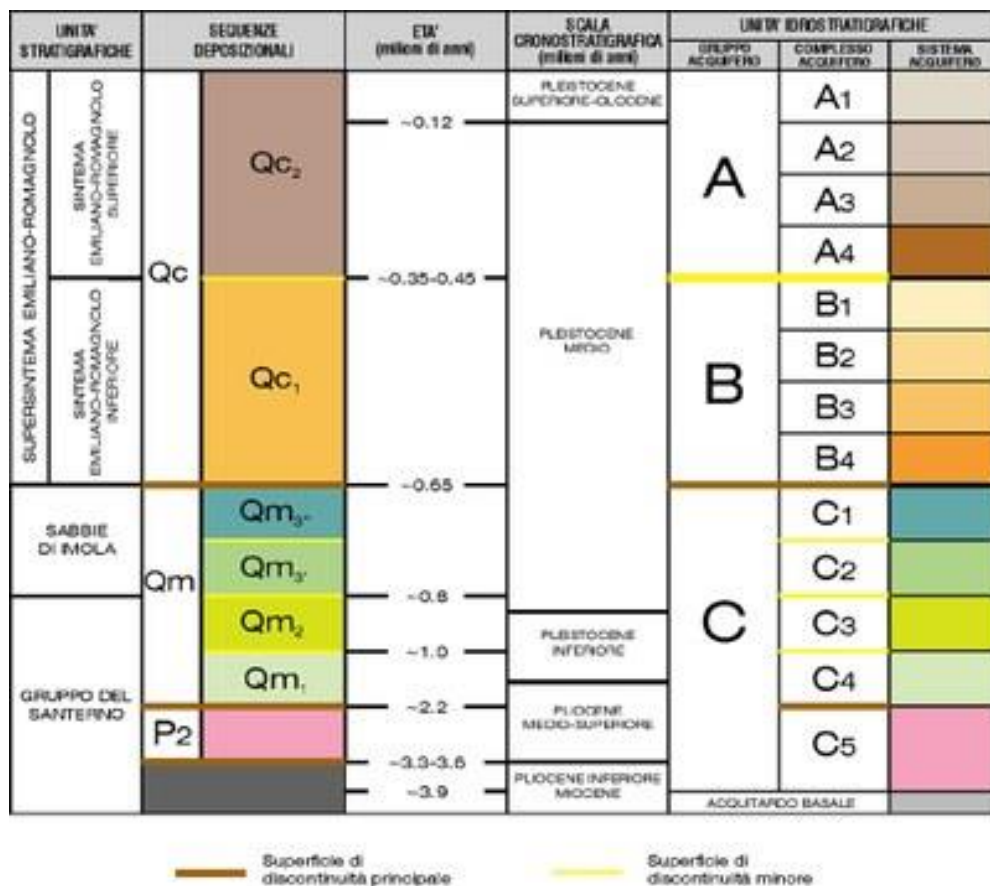



Fig. n. 2.6 – Stratigrafia depositi alluvionali e relative unità idrostratigrafiche;

In riferimento all'area oggetto di analisi è stata individuata una sezione idrogeologica (Fig. 2.5) dall'archivio della Regione Emilia-Romagna che mostra l'assetto dei complessi acquiferi. In corrispondenza dell'area si identifica il seguente assetto:

- GRUPPO A0 – Acquifero freatico; l'acquifero risulta contenuto in depositi alluvionali (Ghiaie e Sabbie) posti tra la profondità di -5.00 m e -15.00/20.00 m rispetto al piano campagna. Alla base di questo sistema sono presenti terreni argillosi aventi uno spessore di un paio di metri;
- GRUPPO A1 – Acquifero artesiano; l'acquifero risulta contenuto in depositi alluvionali (Ghiaie e Sabbie) posti tra la profondità di -20.00 m e -100.00 m rispetto al piano campagna. Tale acquifero rappresenta il primo acquifero confinato/semiconfinato;

Analizzando le cartografie della piezometria (Fig. n. 6) e soggiacenza (Fig. n. 7) fornite dalla Regione Emilia-Romagna in merito all'annualità del 2017, quanto precedentemente descritto relativamente all'acquifero A0 trova pienamente conferma. In riferimento all'area di interesse si deriverebbe una soggiacenza di circa -10.00 m rispetto al piano campagna.

	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	12	60
	REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

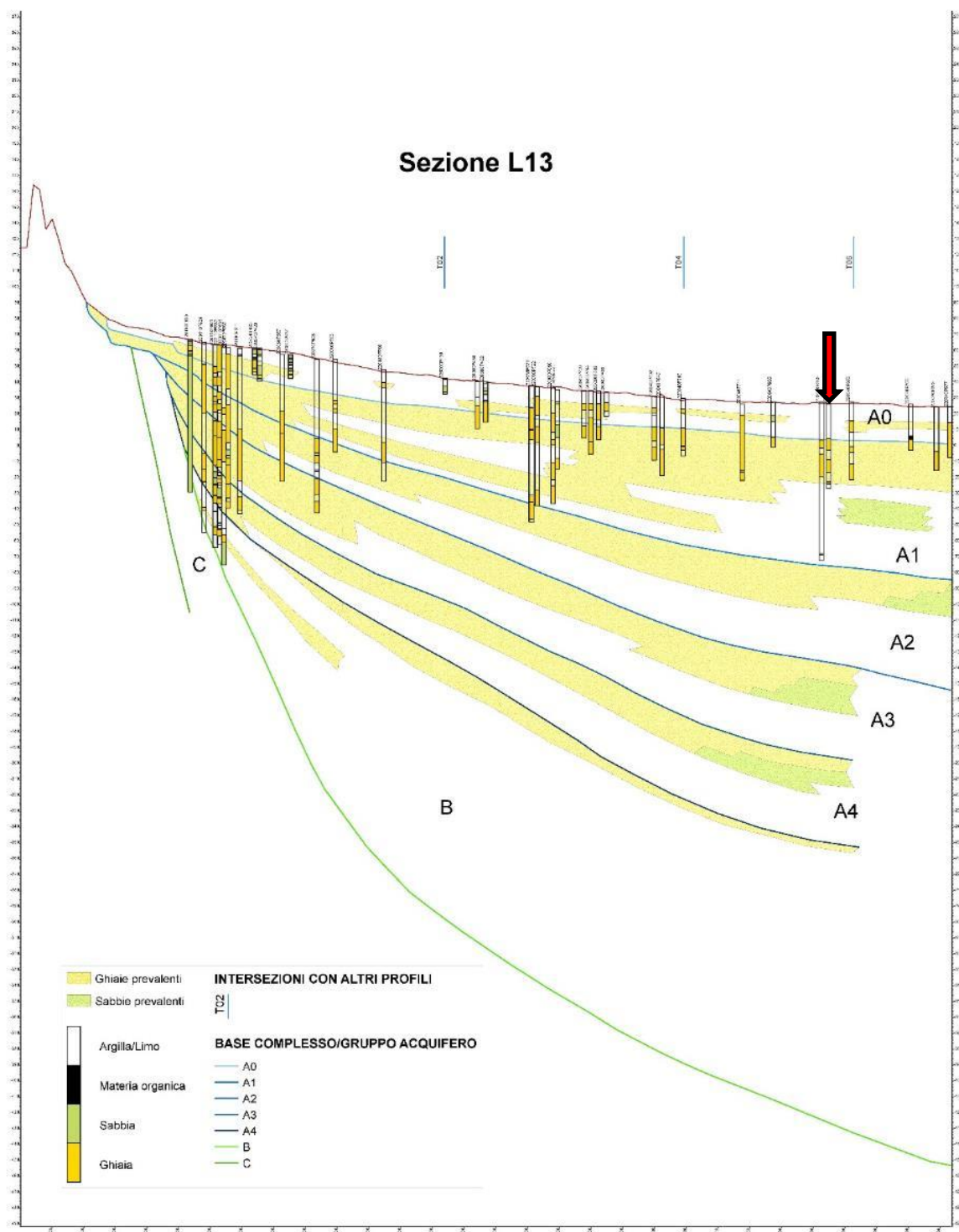



Fig. n. 2.5 – Sezione idrogeologica L13 (Regione Emilia-Romagna), la freccia rossa indica la posizione in sezione dell'area di interesse;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	13	60
	REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

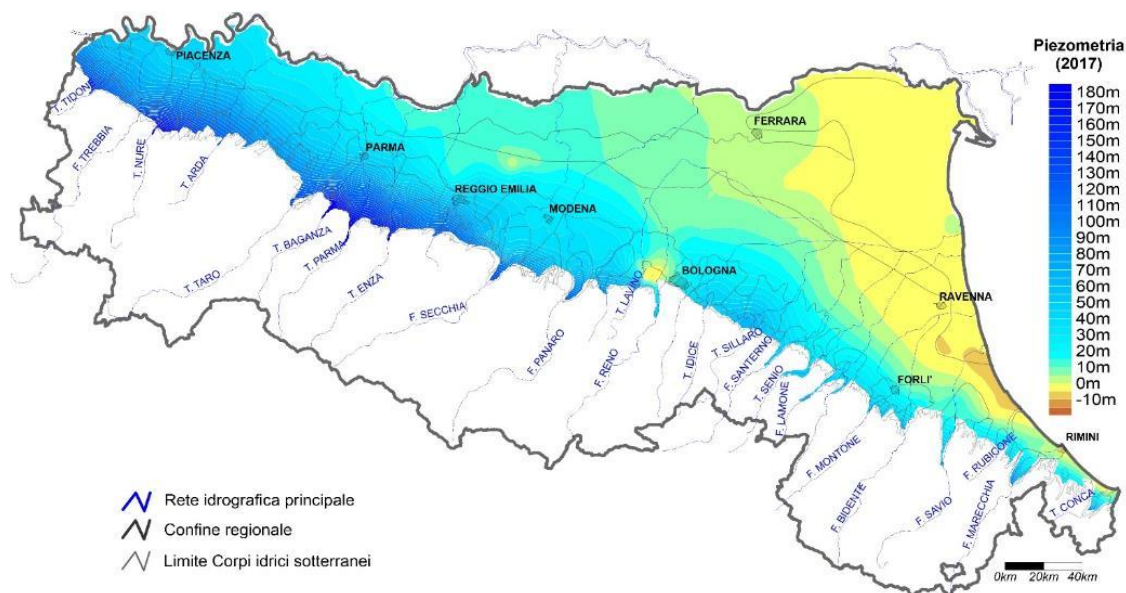


Fig. n. 2.6 – Piezometria RER (Anno 2017) dell’acquifero libero superficiale A0;

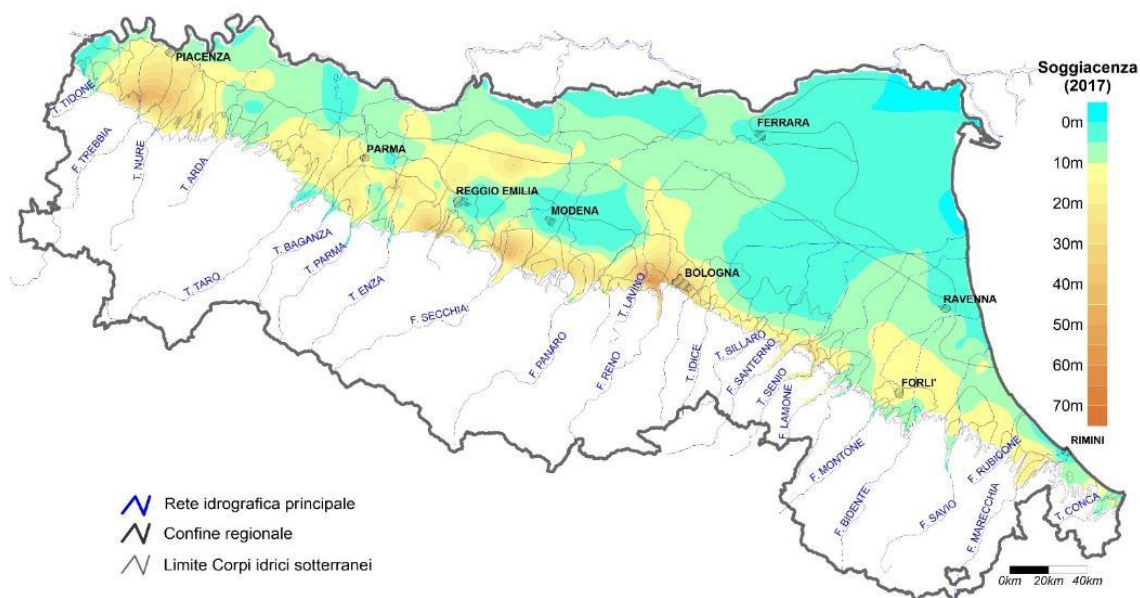



Fig. n. 2.7 – Soggiacenza RER (Anno 2017) dell’acquifero libero superficiale A0;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	14	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

2.5 INQUADRAMENTO IDROLOGICO

L'area di intervento risulta collocata all'interno del bacino idrografico del Canale Navile, lo stesso che scorre in adiacenza sul lato OVEST dell'area.

In riferimento alla pericolosità idraulica sono state consultate le "Mappe della Pericolosità e del Rischio Alluvioni" (Det. 3757/2011 e DGR 1244/2014)" del "PGRA" (Piano Gestione Rischio Alluvioni) con particolare riferimento sia al Reticolo Principale e Secondario montano (RP_RSCM) sia al Reticolo Secondario di pianura (RSP).

Nell'area oggetto di studio si osservano i seguenti scenari di pericolosità e di rischio riportati di seguito, relativi al reticolo principale (RP) e reticolo secondario di pianura (RSP).

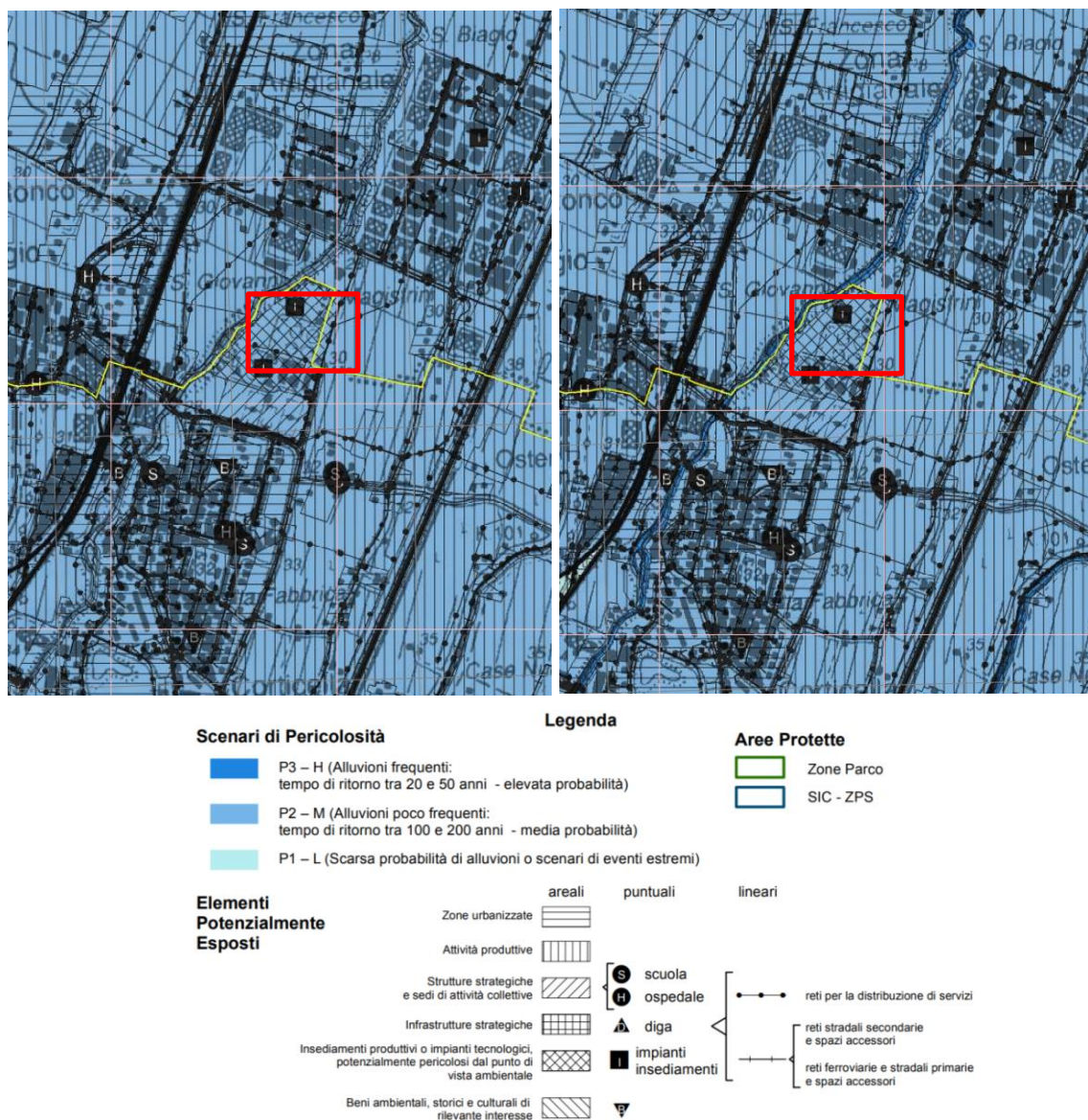

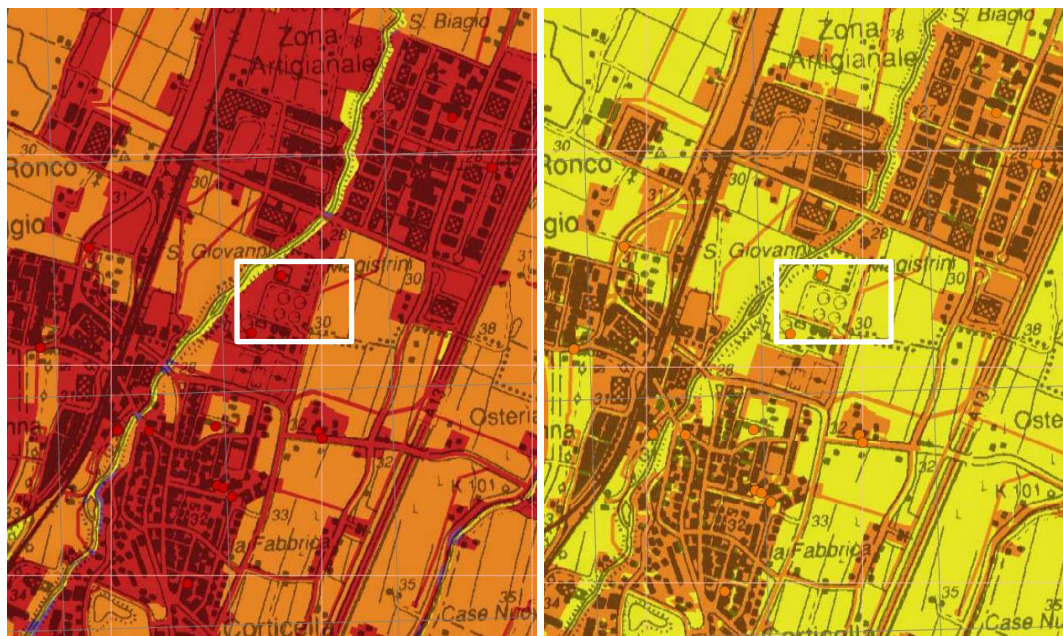


Fig. n. 2.8 – Scenario pericolosità PGRA – A sinistra RP, a destra RSP;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	15	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					



CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
	P3	P2	P1
D4	R4	R4	R2
D3	R4	R3	R2
D2	R3	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Figura 2 – Matrice del rischio di tipo A

CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
	P3	P2	P1
D4	R4	R3	R2
D3	R3	R3	R1
D2	R2	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Figura 3 – Matrice del rischio di tipo B


CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'	
	P3	P2
D4	R3	R2
D3	R3	R1
D2	R2	R1
D1	R1	R1

Figura 4 – Matrice del rischio di tipo C

Fig. n. 2.9 – Classi di rischio PGRA – A sinistra RP, a destra RSP;

Da quanto emerge dalle cartografie PGRA consultate, è possibile sintetizzare quanto riportato in tabella e in riferimento all'area di interesse:

RETICOLO	Scenario pericolosità PGRA	Classi di rischio PGRA
RP	P2- M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – Media probabilità)	Variabile R3 – rischio elevato R2 – rischio moderato
RSP	P2- M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – Media probabilità)	R1 – rischio moderato o nullo

	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	16	60
	REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

2.6 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Per quel che concerne l'inquadramento pedologico, si fa riferimento alla carta dei suoli redatta dalla Regione Emilia-Romagna nel 1994, congiuntamente all'aggiornamento del 2018 sempre ad opera della Regione Emilia-Romagna.

In corrispondenza dell'area di interesse risulta presente la categoria di suolo 7061 identificabile come *“complesso dei suoli CATALDI franco limosi, 0,1-0,2% pendenti / CATALDI franco argilloso limosi, 0,1-0,2% pendenti”*.

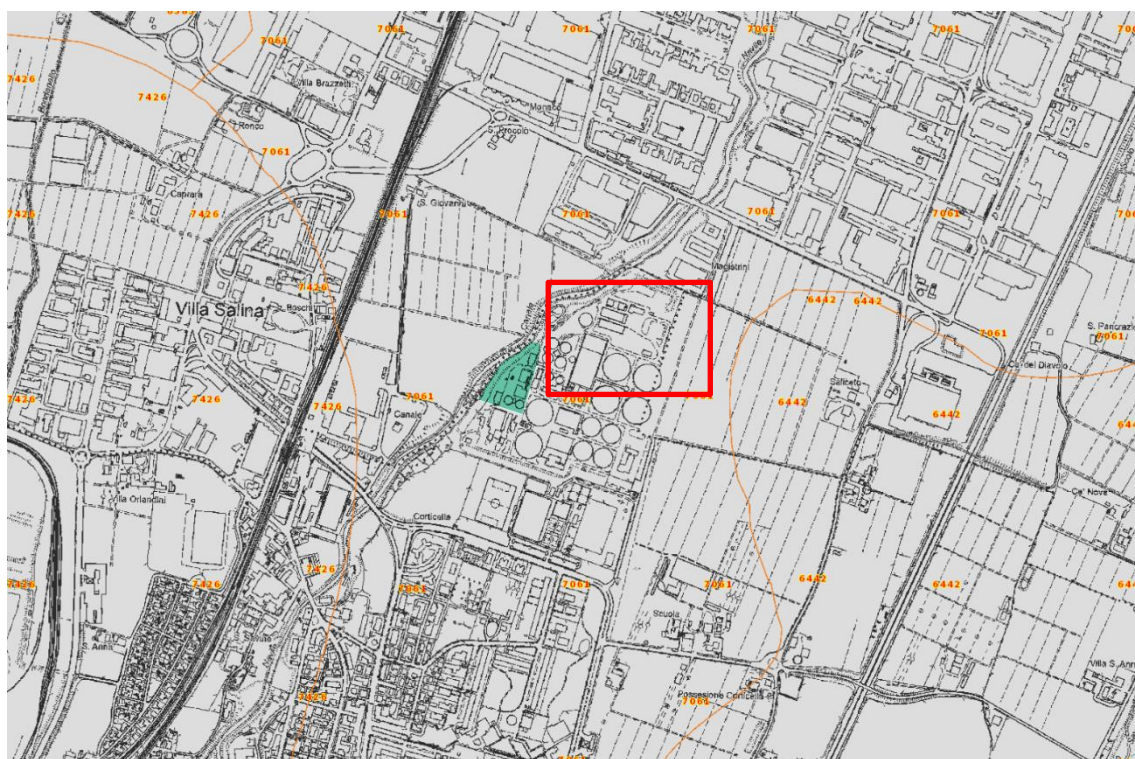



Fig. n. 2.10 – Carta dei suoli-aggiornamento RER 2018;

2.7 USO DEL SUOLO

La classificazione relativamente all'uso del suolo dell'area è resa possibile attraverso la classificazione regionale (edizione 2020). L'area di interesse risulta ascritta alla categoria 1216 definita alla voce *“Impianti tecnologici”*.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	17	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

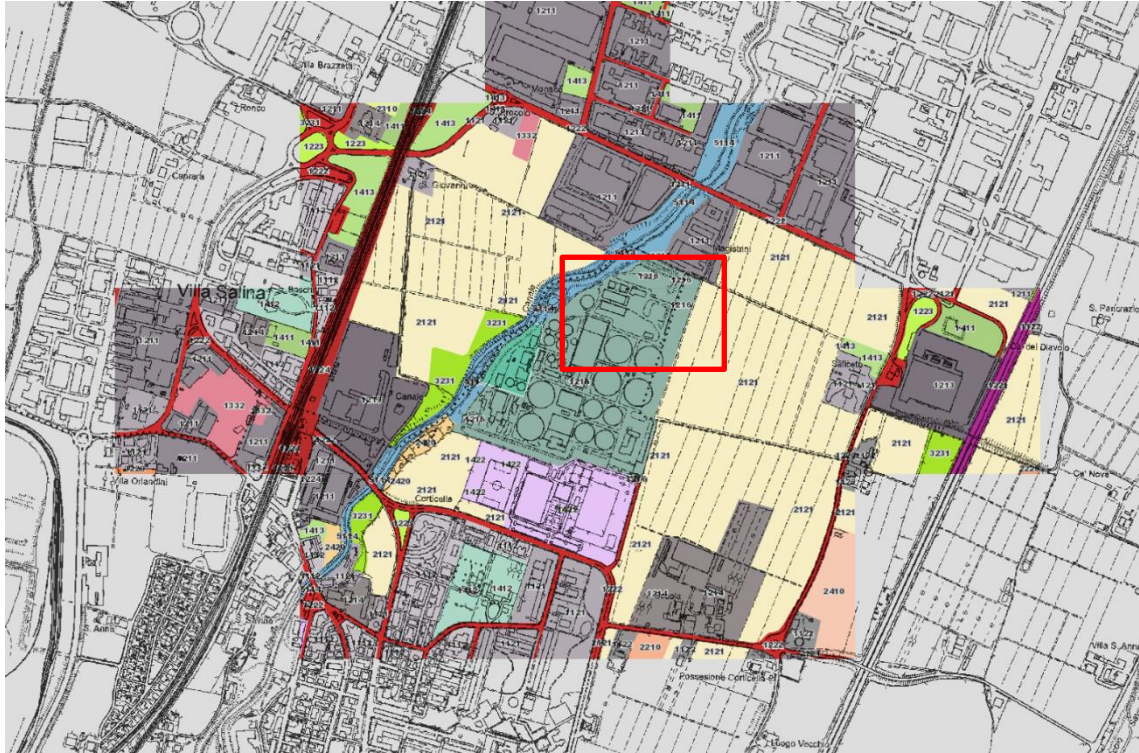



Fig. n. 2.11 – Uso del suolo – RER ed. 2020;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	18	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

3 INQUADRAMENTO RISPETTO AI PIANI SOVRAORDINATI

3.1 PUG COMUNE DI BOLOGNA

A corredo dell'inquadramento territoriale precedentemente descritto, sono stati visionati alcuni elaborati, concernenti aspetti e temi di natura geologica e affine, contenuti nel PUG (Piano urbanistico generale) del Comune di Bologna recentemente adottato. Si illustra, per via sintetica, ogni elaborato consultato e le relative informazioni derivabili.

3.1.1 RISORSE IDRICHE E ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'elaborato mostra come l'area di intervento si inserisca parzialmente all'interno di una fascia di tutela fluviale, posta in prossimità di terrazzi alluvionali e fasce di pertinenza fluviale. Nella seguente cartografia vengono illustrati gli esiti delle previsioni del PGRA, già trattate nei paragrafi precedenti.

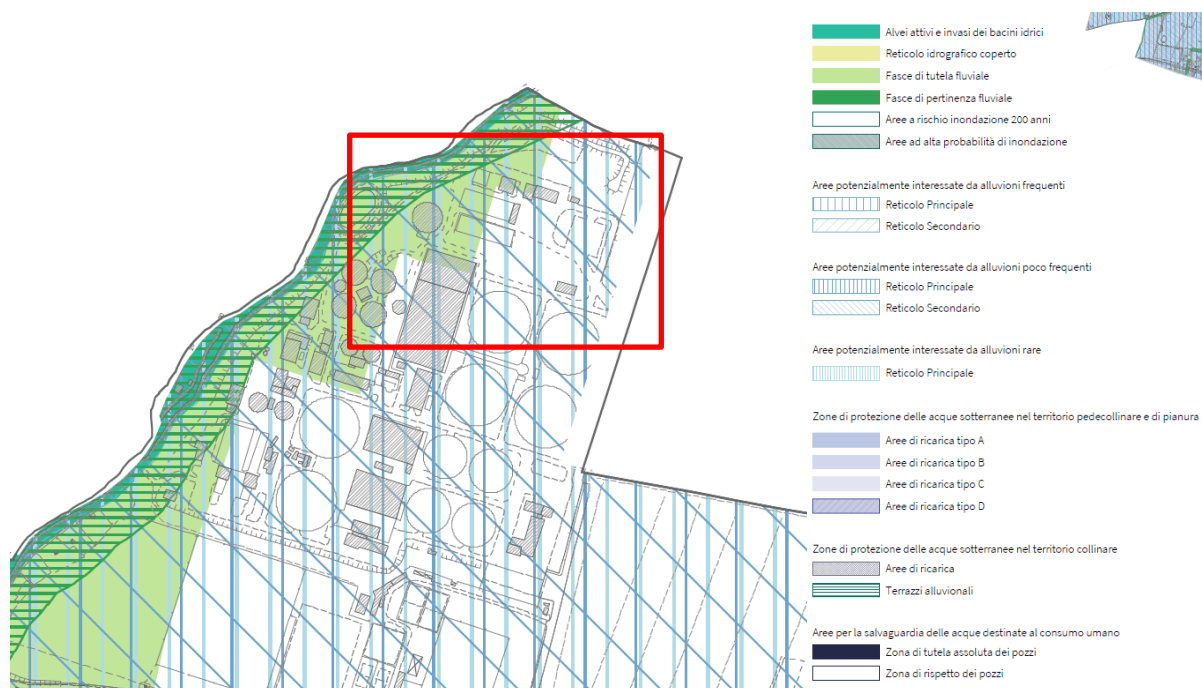



Fig. n. 3.1 – Risorse idriche e assetto idrogeologico – PUG Comune di Bologna;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	19	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

3.2 PSC COMUNE DI CASTELMAGGIORE

A corredo dell'inquadramento territoriale precedentemente descritto, sono stati visionati alcuni elaborati contenuti nel PSC (Piano strutturale comunale – Giugno 2013) del Comune di Castelmaggiore. Si illustra, per via sintetica, ogni elaborato consultato e le relative informazioni derivabili.

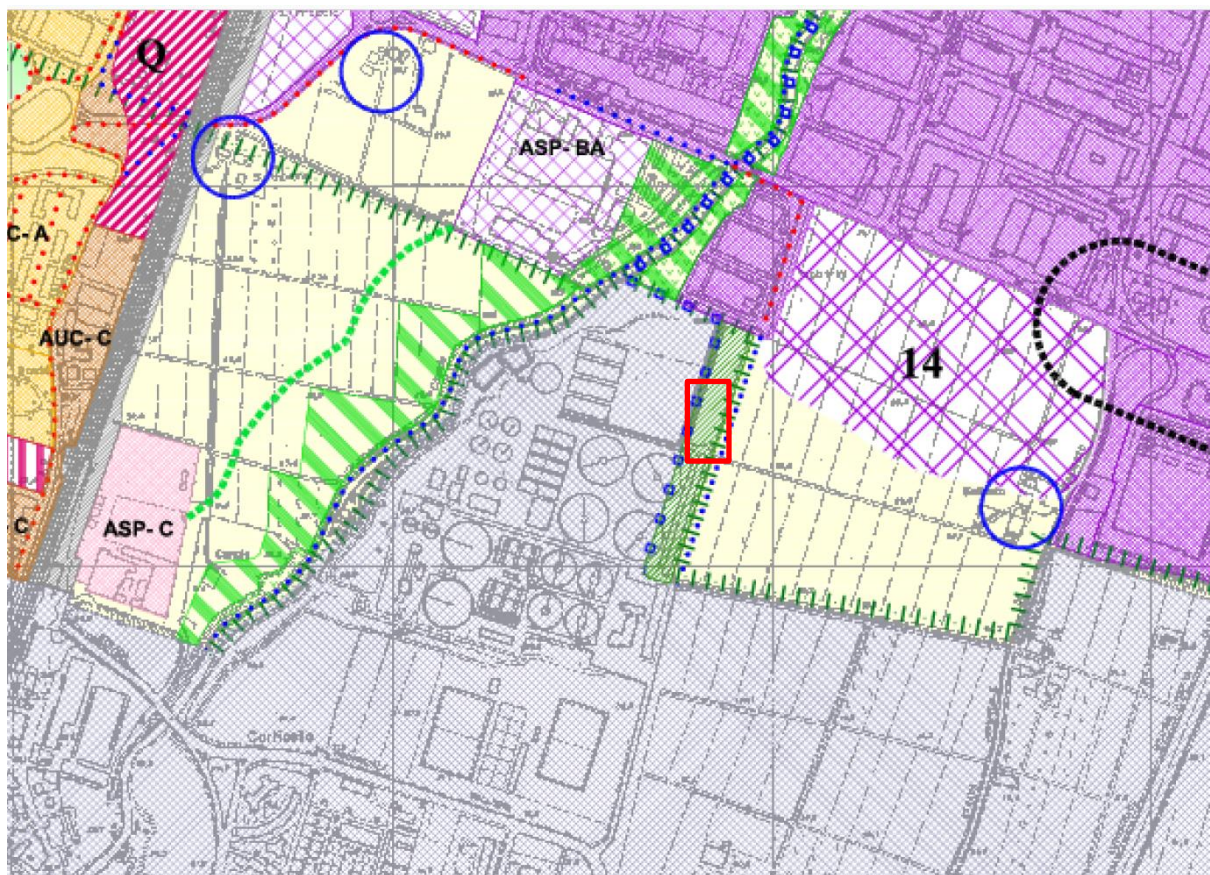



Fig. n. 3.2 – Stralcio carta PSC relativa all'Assetto territoriale;

Dall'analisi della cartografia relativa all'assetto territoriale l'area risulta ascrivibile all'ambito destinato ad attrezzature di maggiore rilevanza esistente (Art. 28 NTA).

3.2.1 TAVOLA DEI VINCOLI

L'analisi della documentazione di piano sovraordinata prende in esame il regime vincolistico presente nell'area, attraverso l'analisi della tavola dei vincoli contenuta all'interno degli elaborati del PSC del Comune di Castel Maggiore.

Da quanto derivabile dalla cartografia visibile in stralcio in fig. 3.3, l'area ricade all'interno del territorio edificato. Non si evince la presenza di alcun vincolo.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	20	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

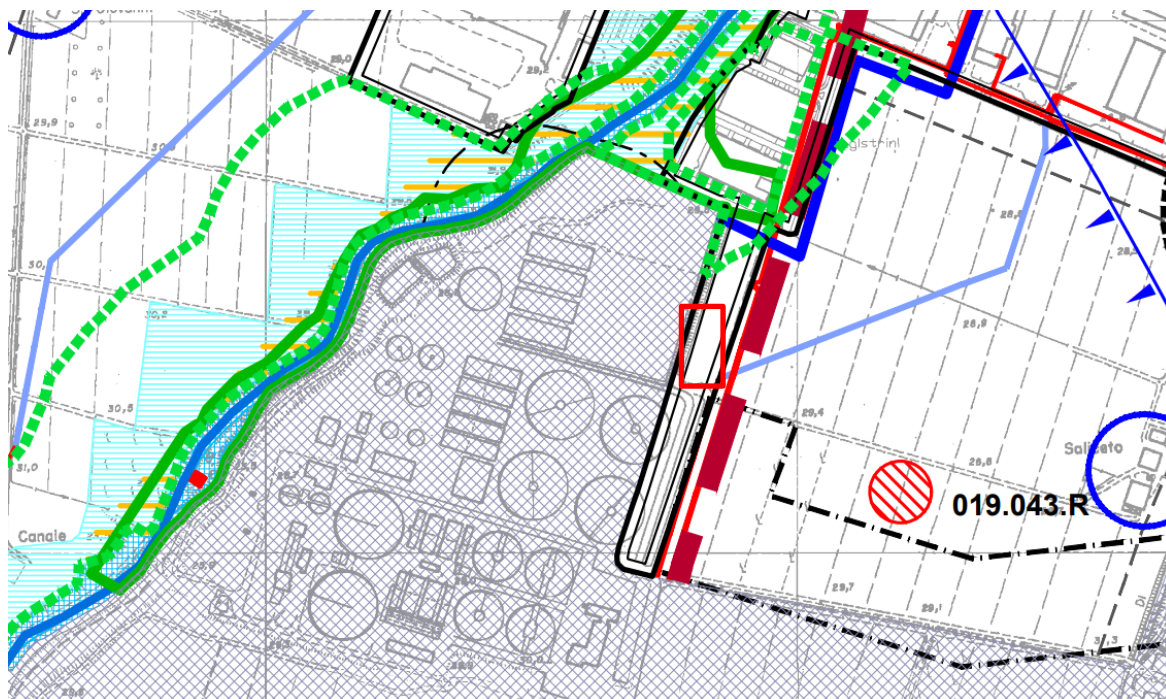



Fig. n. 3.3 – Tavola dei vincoli (PSC – Febbraio 2021);

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	21	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

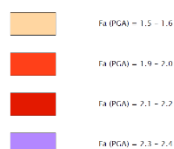
3.3 STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI BOLOGNA

L'analisi della pericolosità sismica del sito si completa con la consultazione della cartografia relativa allo studio di microzonazione sismica (Anno 2020) di II livello di approfondimento relativamente al territorio comunale di Bologna.

Secondo tale cartografia, nello specifico in riferimento alla carta di secondo livello MS illustrante le zone stabili e zone instabili, è possibile constatare come l'area di intervento ricada in corrispondenza di zone di attenzione per instabilità (livello 2) per fenomeni di liquefazione sismica. Il valore di amplificazione dell'accelerazione (PGA) per tale area risulta compreso tra 1.5 e 1.6.

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)

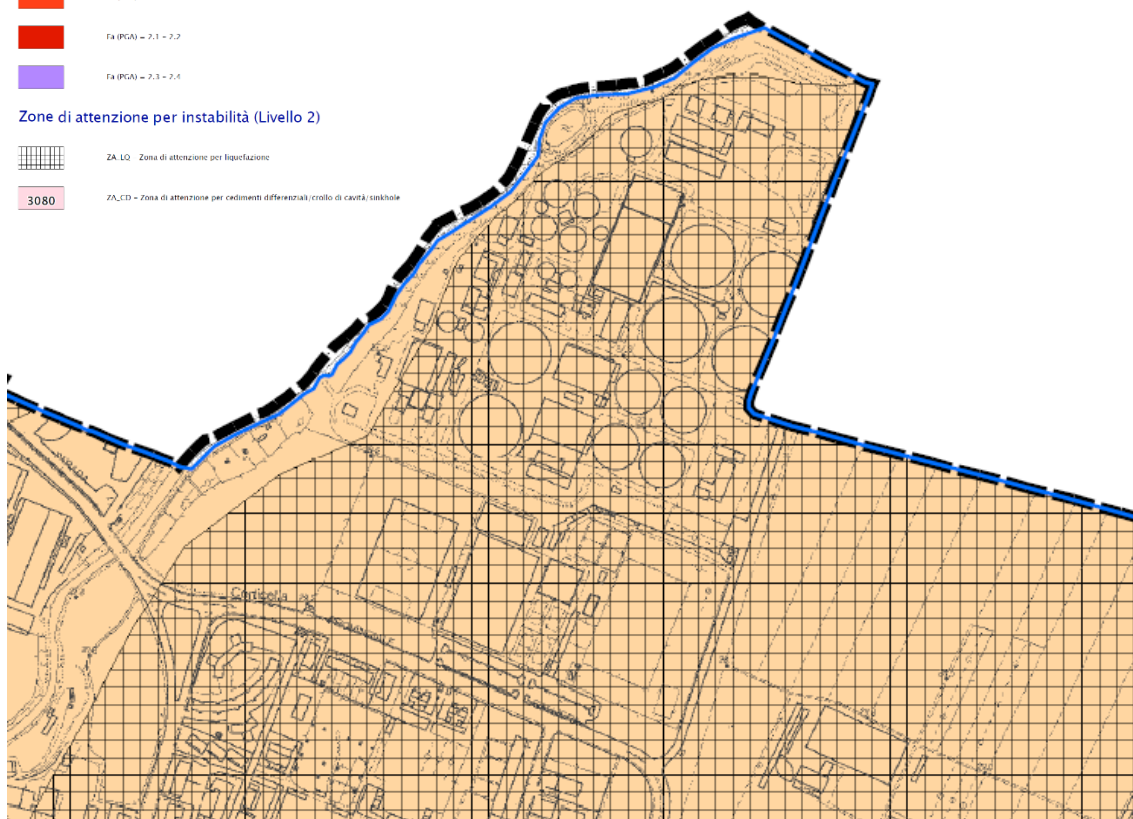
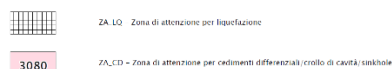



Fig. n. 3.4 – Stralcio della carta MS di II livello (FA PGA) dello studio di microzonazione sismica del Comune di Bologna (Anno 2020);

In riferimento a quanto definito dalla cartografia consultata e constatando la probabile instabilità geotecnica del terreno per fenomeni di liquefazione, lo studio dell'azione sismica contenuto nel seguente elaborato verrà approcciata mediante specifica analisi di risposta sismica locale RSL.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	22	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

3.4 STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI CASTEL MAGGIORE

L'analisi della pericolosità sismica del sito si completa con la consultazione della cartografia relativa allo studio di microzonazione sismica (Anno 2018) di II livello di approfondimento relativamente al territorio comunale di Castel Maggiore.

Secondo tale cartografia, nello specifico in riferimento alla carta di secondo livello MS illustrante le zone stabili e zone instabili, è possibile constatare come l'area di intervento ricada in corrispondenza di zone di attenzione per instabilità (livello 2) per fenomeni di liquefazione sismica. Il valore di amplificazione dell'accelerazione (PGA) per tale area risulta compreso tra 1.7 e 1.8.

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione di instabilità (Livello 2)

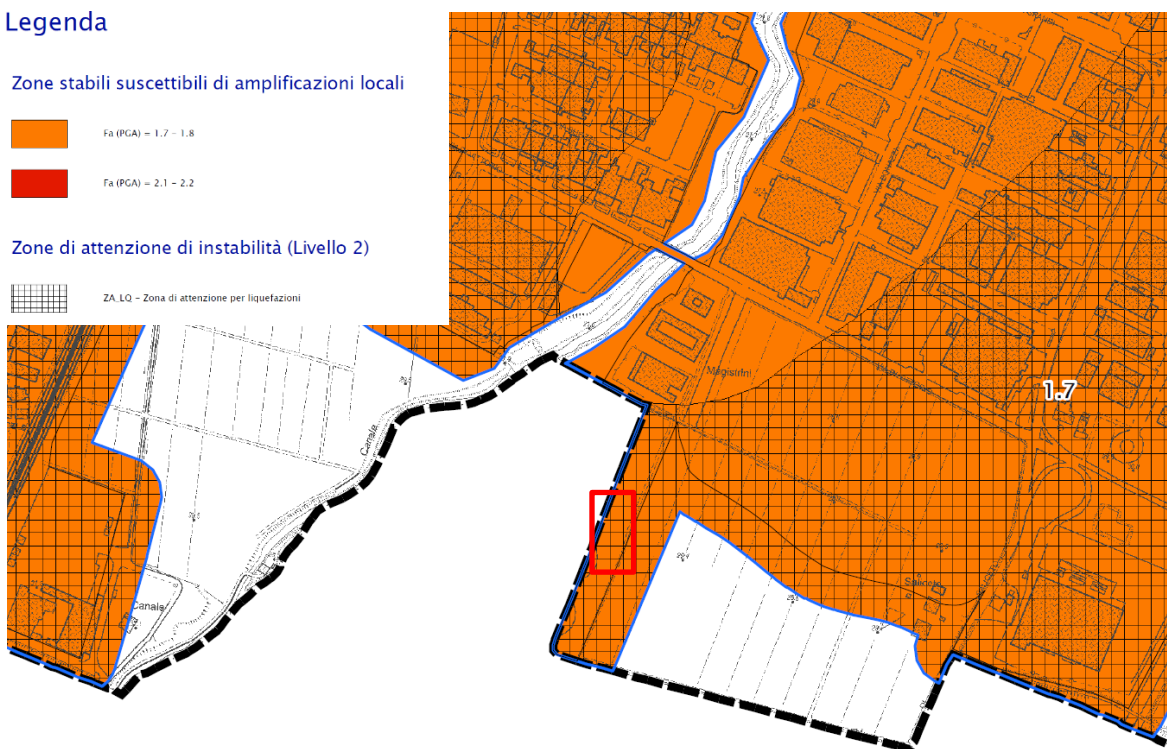



Fig. n. 3.5 – Stralcio della carta MS di II livello (FA PGA) dello studio di microzonazione sismica del Comune di Castel Maggiore (Anno 2018);

In riferimento a quanto definito dalla cartografia consultata e constatando la probabile instabilità geotecnica del terreno per fenomeni di liquefazione, lo studio dell'azione sismica contenuto nel seguente elaborato verrà approcciata mediante specifica analisi di risposta sismica locale RSL.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	23	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Si illustra successivamente il set di indagini eseguite nell'area nell'anno 2022 per la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dell'area di interesse.

CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2022		
SIGLA	Descrizione	Quantità
SCC+DH	Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni e prova sismica in foro DH (zona limitrofa)	1
CPTU	Prove penetrometriche statiche CPTU con punta elettrica e piezocono	4
PIEZO	Sondaggi a carotaggio continuo attrezzati a piezometro (zona limitrofa)	1

Per le caratteristiche tecniche circa le strumentazioni e le modalità di indagini si faccia riferimento agli specifici elaborati prodotti dalla società TECNOSTUDIO SRL, esecutrice delle indagini sopracitate.

L'ubicazione delle indagini risulta visibile alla tavola n. 4 e nella figura successivamente riportata.

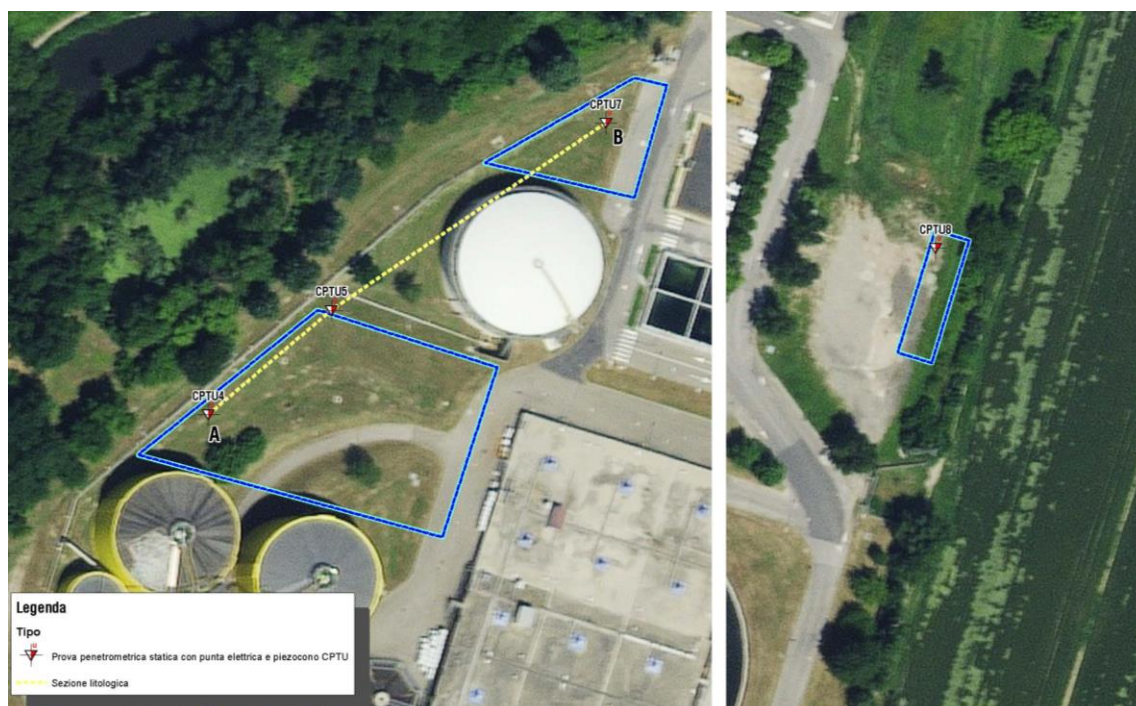



Fig. n. 4.1 – Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite;

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	24	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

5 MODELLO GEOLOGICO

Sulla scorta delle indagini eseguite e precedentemente illustrate, si è resa possibile l'individuazione del modello geologico medio relativo al volume significativo di sottosuolo direttamente condizionato dagli interventi in progetto. I modelli geologici forniti risultano due. Il primo risulta relativo all'area di sedime posta in Comune di Bologna (Area A e Area B) e rappresentato dalle verticali di prova CPTU 4, CPTU5 e CPTU7. Il seguente modello risulta corredato di opportuna sezione litologica successivamente illustrata e riportata in tavola n. 6.

Il secondo modello si riferisce all'area di intervento C, posta in Comune di Castel Maggiore e risulta individuato dalla verticale di prova CPTU8.

I modelli geologici precedentemente descritti risultano essere i seguenti:

MODELLO GEOLOGICO MEDIO – Area A e Area B			
SIGLA	Quota relativa TOP (m)	Quota relativa BASE (m)	Descrizione
A	0.00	2.00	Terreno naturale argilloso sovraconsolidato e/o terreno di riporto con inclusi clasti incoerenti
B	2.00	4.00	Argille limose e limi argillosi
C	4.00	10.50	Argille limose
D	10.50	14.50	Argille limose e Argille sabbiose (intercalazioni)
E	14.50	21.00	Argille limose
F	21.00	24.70	Sabbie limose
G	24.70	29.30	Argille limose con lenti di sabbia
H	29.30	30.00	Sabbie limose

MODELLO GEOLOGICO MEDIO – Area C			
SIGLA	Quota relativa TOP (m)	Quota relativa BASE (m)	Descrizione
A	0.00	1.00	Riporto
B	1.00	5.00	Intercalazioni di limi argillosi e limi sabbiosi
C	5.00	6.80	Limi sabbiosi
D	6.70	14.30	Argille limose
E	14.30	18.45	Argille limose con sporadiche lenti sabbiose decimetriche
F	18.45	25.00	Argille limose con sporadiche lenti sabbiose decimetriche

Le quote identificate nel modello geologico medio sono da intendersi medie sull'intero areale in analisi: per la definizione dell'andamento delle varie eterotopie interstrato individuate occorre fare riferimento alla sezione litologica realizzata. Salvo rare intercalazioni di lenti sabbiose, il profilo delle varie unità litotecniche individuate si mantiene regolare e sub-orizzontale.



N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

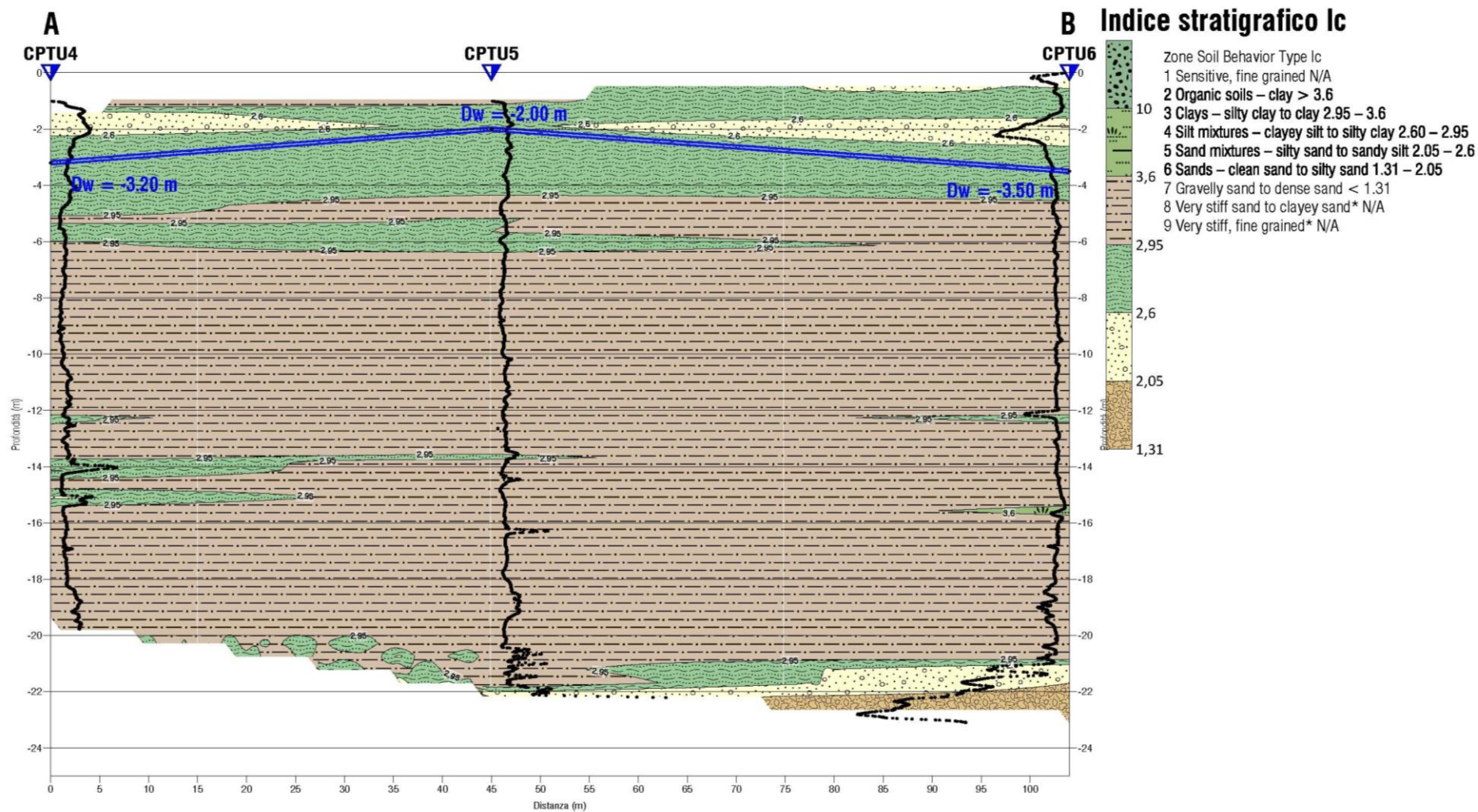
N° FG. (SH. N.)


25

DI (LAST)

60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	26	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					


6 MODELLO GEOTECNICO/IDROGEOLOGICO

6.1 INTERPRETAZIONE ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO

Si illustrano successivamente gli esiti delle prove di laboratorio eseguite in riferimento ai campioni di terreno prelevati nel corso del sondaggio a carotaggio.

SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondità	GRANULOMETRICHE				LIMITI DI CONSISTENZA			
			Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Wl	Wp	Ip	Ic
			%	%	%	%	%	%		
SCC-DH	1	3	0	9.6	44.6	45.8	44.6	20.5	24.1	0.89
SCC-DH	2	8	0	2	42.9	55.1	53.4	31.1	22.3	1.08
SCC-DH	3	9	0	3.3	44.3	52.4	50.6	30.1	20.5	0.81
SCC-DH	4	13.5	0	11.8	45.7	42.5	50.7	33.1	17.6	0.87
SCC-DH	5	16.5	0	1	29.2	69.8	56.7	26.7	30	1.06
SCC-DH	6	17.5	0	39.5	44.7	15.8	45.3	21.8	23.5	0.85
SCC-DH	7	21	0.2	85	7	7.8	\	\	\	\
SCC-DH	8	24	0.7	95.1	4.2		\	\	\	\
SCC-DH	9	27	0	2.6	50.2	47.2	49.5	25.9	23.6	1.16

SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondità	Prova edometrica				Caratteristiche fisiche		
			σ	E	Cv	k	γ Nat	γ Sat	e
			kPa	kPa	cmq/sec	cm/sec	kN/m ³	kN/m ³	
SCC-DH	1	3	100/200	3636	0.000668	1.80E-08	18.5	19.3	0.777
SCC-DH	2	8	100/200	4914	0.001277	2.55E-08	19	19.2	0.833
SCC-DH	3	9	\	\	\	\	18.3	18.5	0.983
SCC-DH	4	13.5	100/200	3125	0.00027	8.46E-09	18.5	18.5	0.976
SCC-DH	5	16.5	\	\	\	\	18.2	19.1	0.852
SCC-DH	6	17.5	\	\	\	\	18.8	19.3	0.781
SCC-DH	7	21	\	\	\	\	\	\	\
SCC-DH	8	24	\	\	\	\	\	\	\
SCC-DH	9	27	\	\	\	\	18.3	19.3	0.787


					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	27	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondità	TRIASSIALI CD		TRIASSIALI UU
			c'	Ø	Cu
		m	kPa	%	kPa
SCC-DH	1	3	9.2	25.3	\
SCC-DH	2	8	8.1	27.1	\
SCC-DH	3	9	\	\	89.2
SCC-DH	4	13.5	\	\	83.3
SCC-DH	5	16.5	\	\	76.6
SCC-DH	6	17.5	6.9	29.4	\
SCC-DH	7	21	\	\	\
SCC-DH	8	24	\	\	\
SCC-DH	9	27	\	\	74.2

6.2 SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Per l'identificazione dei carichi idraulici nel sottosuolo sono state considerate le letture piezometriche eseguite all'interno dei fori di prova CPTU eseguiti in sede di caratterizzazione geotecnica. In riferimento alle aree A e B si evidenzia un dato di soggiacenza variabile in corrispondenza di ciascun profilo penetrometrico: la soggiacenza varia da un valore massimo di -2 metri da piano campagna e un valore minimo di -3.50 metri da piano campagna.

In corrispondenza dell'area C la soggiacenza risulta posta a -3.50 metri da piano campagna.

					
	N° COMMESSA (JOB N°) N12001013951	ID DOC. (DOC. ID) CX00RL0001	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 28	DI (LAST) 60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

Sulla scorta dell'integrazione e analisi delle varie indagini, eseguite sia in sito che in laboratorio geotecnico, si propone il seguente modello geotecnico medio. Tale modellazione potrà essere adottata per l'esecuzione delle verifiche geotecniche necessarie in sede di progettazione.

MODELLO GEOTECNICO MEDIO (PARAMETRI CARATTERISTICI K) - AREA A e B															
	Z _{TETTO}	Z _{BASE}	Spessore	Deposito	γ _{NAT}	c'	Cu	φ ⁱ	OCR	Es	M	kh	A	kv	Dw
A	0.00	2	2.00	Terreno naturale argilloso sovraconsolidato e/o terreno di riporto con inclusi clasti incoerenti	19	10	100	23	10	14000	11000	1.00E-07	0.5	5.00E-08	
B	2	4.00	2	Argille limose e limi argillosi	18.5	9.2	100	25.3	8	14000	2273	1.80E-10	0.5	9.00E-11	2
C	4.00	10.5	6.5	Argille limose	19	8.1	70	27.1	4	9800	4914	2.55E-10	0.5	1.28E-10	
D	10.5	14.5	4	Argille limose e Argille sabbiose (intercalazioni)	18.5	8.1	83	27.1	4	11620	3125	8.46E-11	0.5	4.23E-11	
E	14.5	21	6.5	Argille limose	18.8	6.9	76.6	29.4	2	10724	*	1.00E-09	0.5	5.00E-10	
F	21	24.7	3.7	Sabbie limose	16	\	\	34	\	20000	\	5.00E-06	0.5	2.50E-06	
G	24.70	29.30	4.60	Argille limose con lenti di sabbia	18.3	*	74.2	*	*	10388	*	1.00E-09	0.5	5.00E-10	
H	29.30	30.00	0.7	Sabbie limose	16	\	\	34	\	20000	\	5.00E-06	0.5	2.50E-06	
<div><div>Metri da p.c.</div><div>Metri da p.c.</div><div>Descrizione litologica</div><div>Peso di volume naturale (kN/m³)</div><div>Coesione efficace (kN/m²)</div><div>Coesione non drenata (kN/m²)</div><div>Angolo attrito efficace (°)</div><div>Grado di sovraconsolidazione</div><div>Modulo di elasticità di Young (kPa)</div><div>Modulo edometrico (kPa)</div><div>Coefficiente permeabilità orizzontale</div><div>Anisotropia</div><div>Coefficiente permeabilità verticale</div><div>Soggiacenza (m da p.c.)</div></div>															
*dato non derivabile \ dato non quantificabile per la tipologia di terreno															



N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

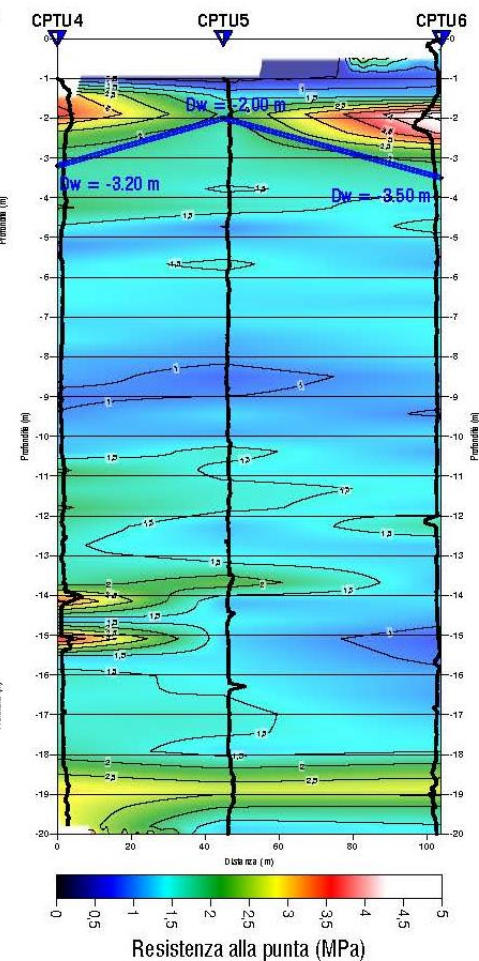
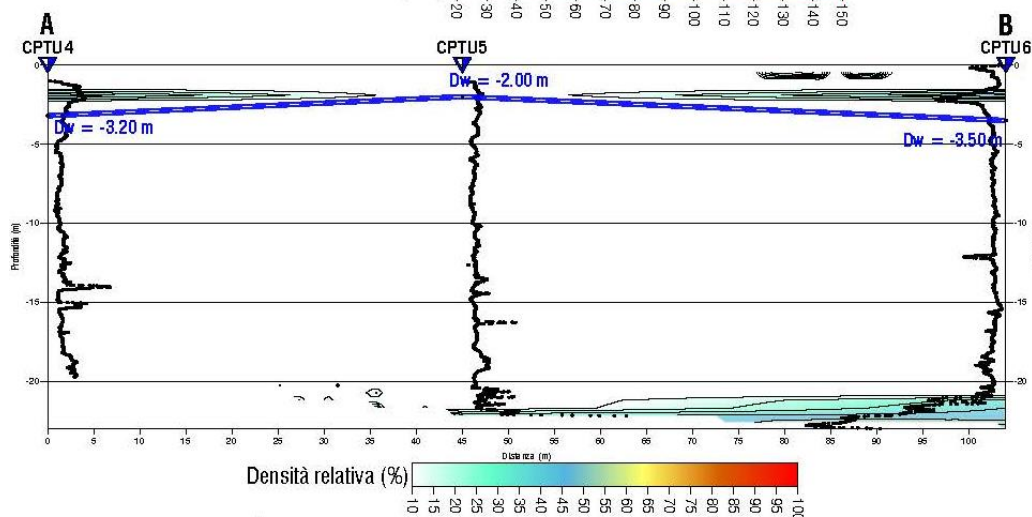
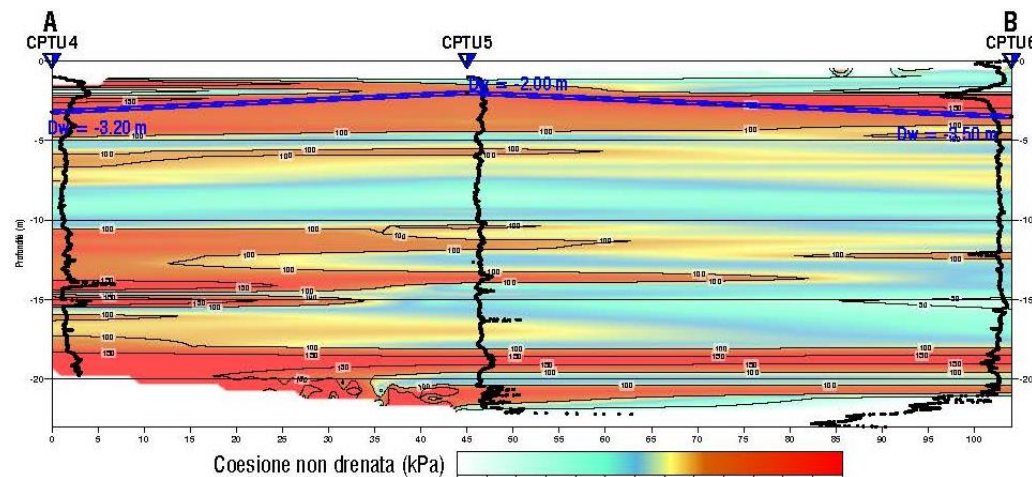
N° FG. (SH. N.)


30

DI (LAST)

60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	31	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

7 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

7.1 IDENTIFICAZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La caratterizzazione del sottosuolo secondo quanto indicato al § 3.2.2 della normativa tecnica NTC 2018 ha previsto l'identificazione del modello di velocità di onde S all'interno del volume significativo di sottosuolo interessato direttamente e indirettamente dalle influenze delle opere di progetto. Il modello di velocità è stato derivato attraverso l'esecuzione di un'indagine sismica in foro DOWN-HOLE fino a una profondità di -30.00 metri rispetto il piano campagna attuale.


Il modello di velocità ricavato il seguente:

Vs30 214 m/s – Categoria di sottosuolo “C” NTC 2018			
Profondità (m)	Velocità onde P (m/s)	Velocità onde S (m/s)	
6	824	292	
11	852	158	
14	673	170	
23	744	243	
30	984	212	

La classificazione della categoria di sottosuolo è identificabile attraverso il parametro $V_{s,30}$ derivabile dalla seguente espressione:

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

Sulla scorta delle velocità derivate dalle indagini geofisiche appena illustrate e in riferimento al parametro $V_{s,30}$ (214 m/s) è possibile attribuire al sito una categoria di sottosuolo C.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	32	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

7.2 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE RSL

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 delle NTC 2018 e in accordo con quanto esposto nelle delibere DGR 630/19 e DGR 476/21 della Regione Emilia-Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di risposta sismica locale, secondo III livello di approfondimento. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di rigidezza e smorzamento che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H, del modulo di taglio massimo Gmax o dalla corrispondente velocità massima Vmax, dal valore dello smorzamento D, dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (G) e dallo smorzamento (D). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

$$u(z,t)=A\exp[i(\omega t+k^*z)]+B\exp[i(\omega t-k^*z)]$$


Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G(1 - 2D^2 + i2D\sqrt{1 - D^2}) \approx G(1 + i2D)$$

Dove G^* e v_s^* rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	33	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

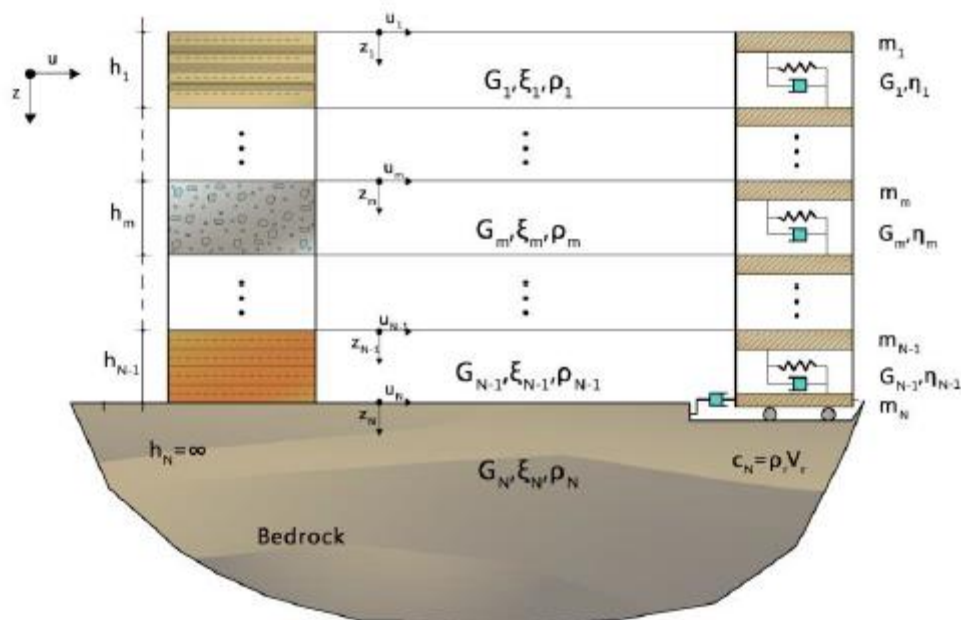


Fig. 7.1 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA

7.2.1 MODELLO INIZIALE

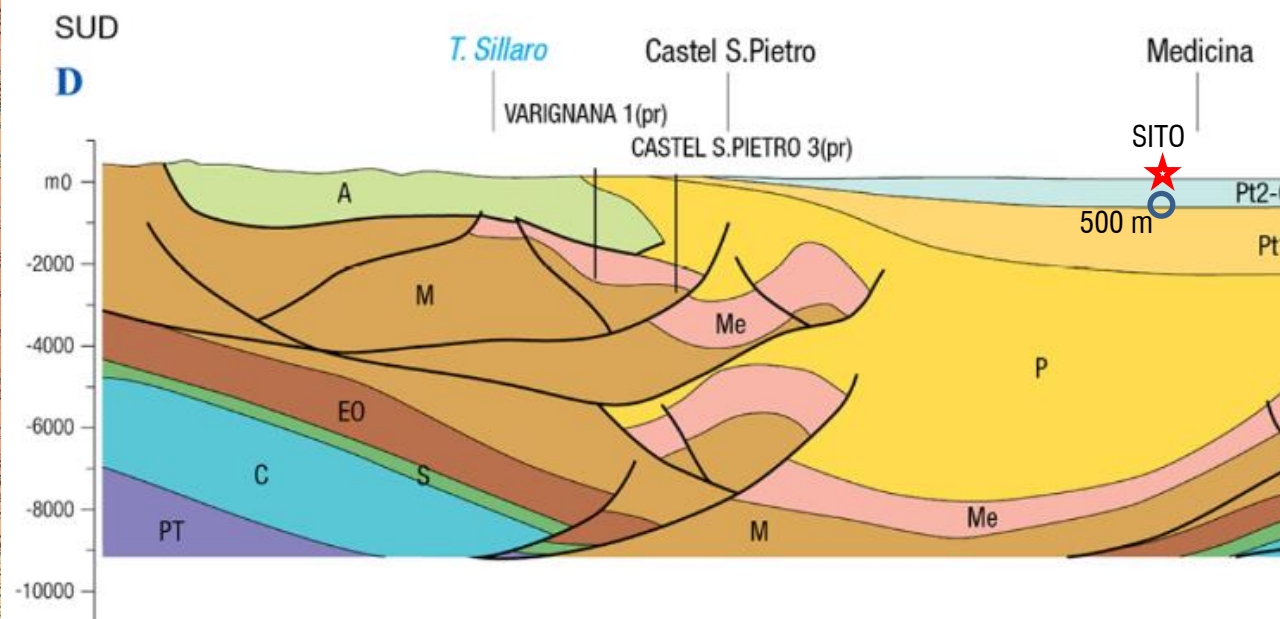
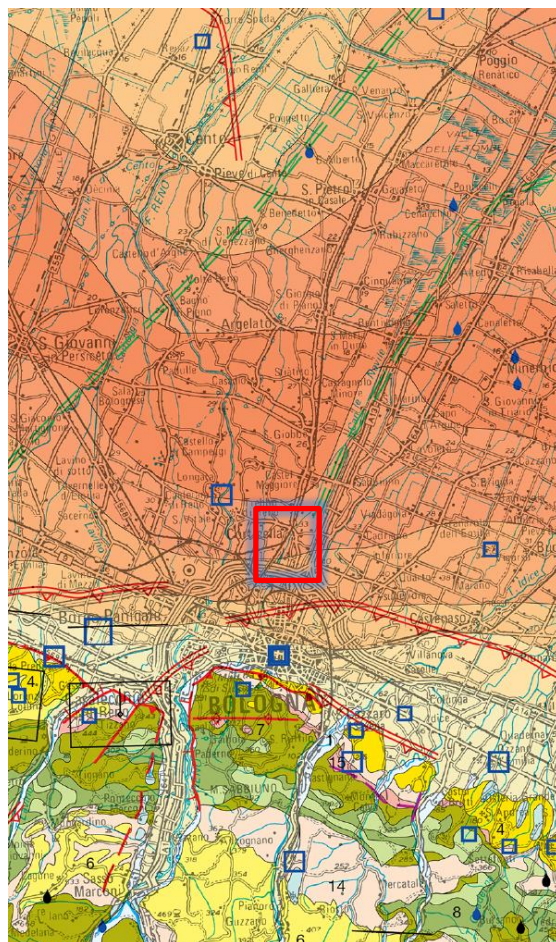
Il profilo di onde S (modello iniziale o di input) risulta relativo alle indagini geofisiche precedentemente illustrate. I risultati e le procedure operative di elaborazione sono descritti nel precedente paragrafo.

Lo studio dell'amplificazione del segnale sismico all'interno dell'analisi RSL richiede la definizione della profondità del suolo rigido (Bedrock – Categoria sismica A) attraverso l'esecuzione di prove dirette di tipo geofisico o, nei casi di elevate profondità del substrato, attraverso l'identificazione di un modello medio bibliografico supportato da informazioni specifiche a scala regionale. Nel presente caso, per l'identificazione della profondità del bedrock sismico in corrispondenza dell'area di interesse, è stata consultata la Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2017 – RER). Ponendo il suolo rigido all'interfaccia delle unità del Pleistocene medio e del Pleistocene inferiore si ottiene una profondità di media di 500 metri.



N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
N12001013951	CX00RL0001	0	34	60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS



Pt2-01 Pleistocene medio - Olocene
Middle Pleistocene - Holocene


Pt1 Pleistocene inferiore
Early Pleistocene

Pt1-2 Villafranchiano - Pleistocene medio
Villafranchian - Middle Pleistocene

P P2 Pliocene superiore - Pleistocene inferiore
Late Pliocene - Early Pleistocene
P1 Pliocene inferiore
Early Pliocene

A Unità Alloctone
Allocthonous Units

Me Messiniano
Messinian

				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	N12001013951	CX00RL0001	0	35
DI (LAST)				
60				
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

Il modello di input adottato in sede di analisi RSL risulta il seguente:

z (m)	Vs (m/s)	S (m)	Curva di riferimento
6.0	292.0	6.0	Argilla (Idriss 1990)
11.0	158.0	5.0	Argilla (Idriss 1990)
14.0	170.0	3.0	Argilla (Idriss 1990)
23.0	243.0	9.0	Sabbia (Idriss 1990)
30.0	212.0	7.0	Argilla (Idriss 1990)
500.0	300	470.0	Argilla (Idriss 1990)
	800.0		BEDROCK

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$. Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

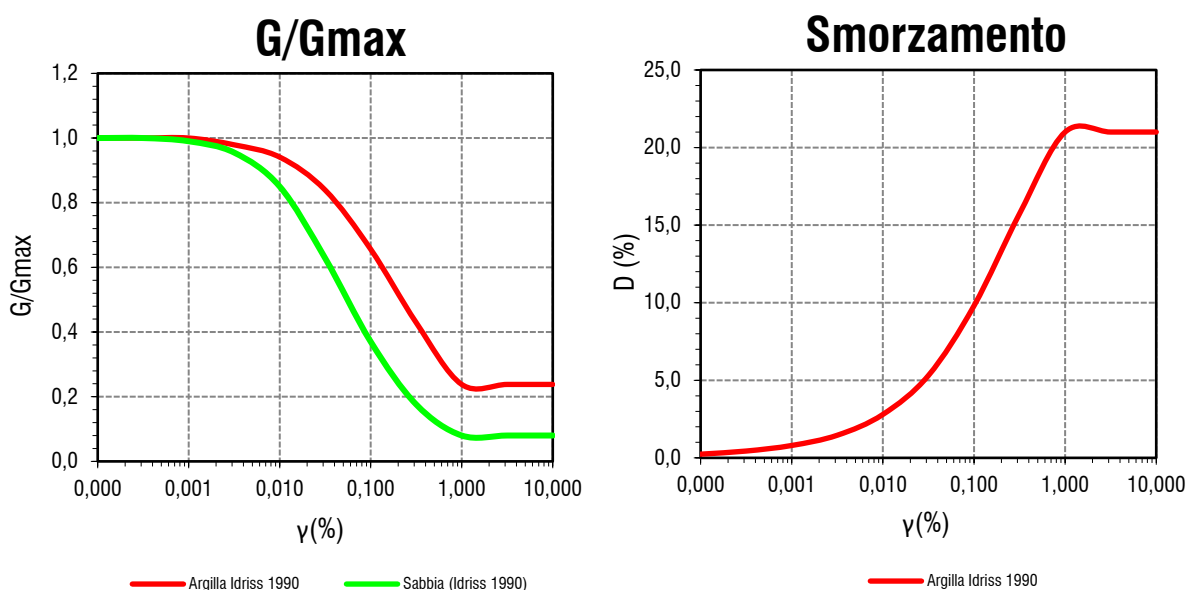




Fig. 7.2 - Curve di decadimento G/G_{max} e smorzamento (D) dei terreni utilizzati per l'analisi

Trattandosi di una verifica a supporto di una progettazione strutturale, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 30 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a III e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 30 accelerogrammi di riferimento. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database". Successivamente si illustrano i codici relativi agli accelerogrammi considerati e i relativi valori di accelerazione (g), registrati in funzione del tempo.

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	36	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique
598	286	ST222	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
473	228	ST40	Vrancea	31/05/1990	6.3	thrust
6336	2142	ST2563	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
6327	2142	ST2552	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust
764	286	ST266	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
6326	2142	ST2496	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
7187	2322	ST3311	Avej	22/06/2002	6.5	thrust
665	286	ST238	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
6333	2142	ST2487	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
471	227	ST40	Vrancea	30/05/1990	6.9	thrust
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal
128	63	ST36	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust
471	227	ST40	Vrancea	30/05/1990	6.9	thrust
764	286	ST266	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
6327	2142	ST2552	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
598	286	ST222	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
6341	2142	ST2497	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
6277	1635	ST2558	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip
473	228	ST40	Vrancea	31/05/1990	6.3	thrust
7187	2322	ST3311	Avej	22/06/2002	6.5	thrust
665	286	ST238	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique
6331	2142	ST2486	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	37	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

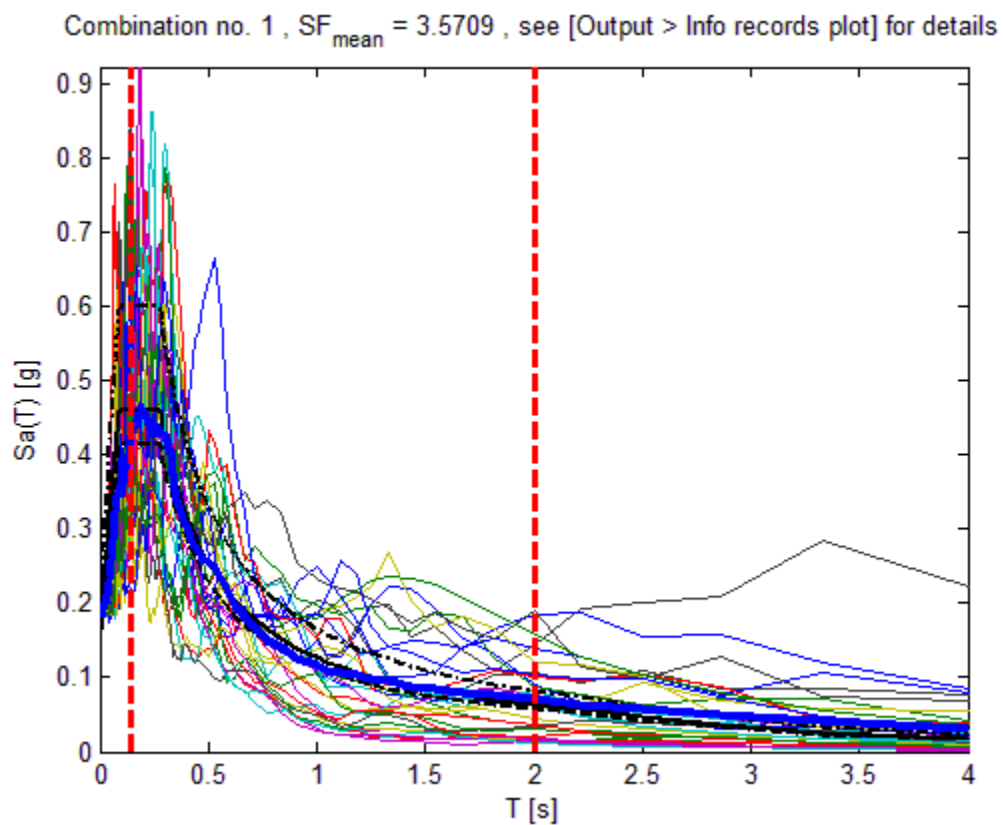



Fig. 7.3 – Forme spettrali di ciascun accelerogramma impiegato per l'analisi RSL

L'analisi ha previsto l'esecuzione di quattro analisi RSL, in riferimento ai vari stati limite (SLO, SLD, SLV e SLC).

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	38	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

7.2.2 RISULTATI OTTENUTI

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

Successivamente si procede a illustrare le funzioni spettrali derivate per ciascun stato limite considerato.



N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

N° FG. (SH. N.)

39

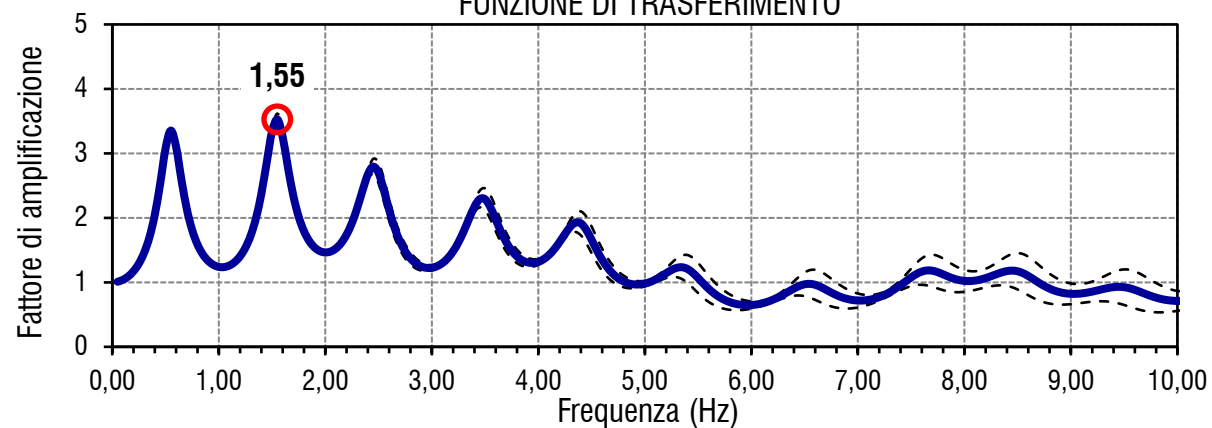
DI (LAST)

60

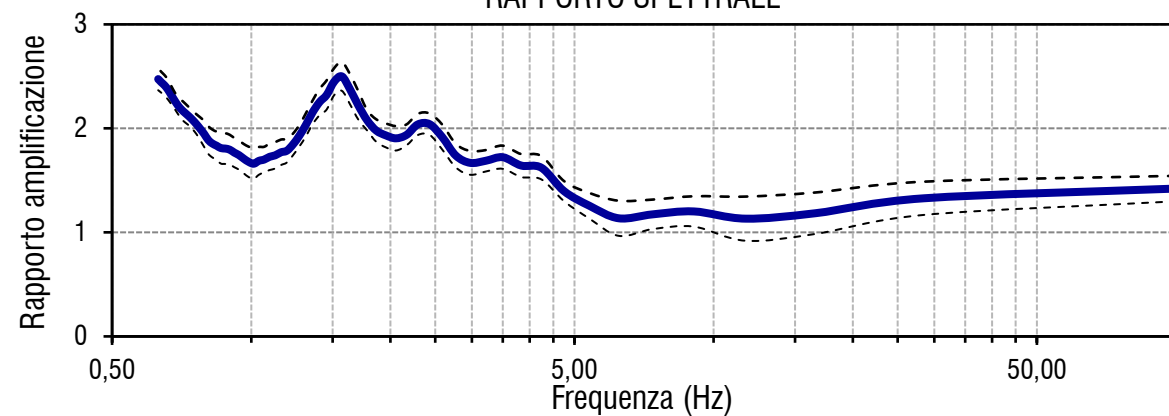
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

ESITI ANALISI RSL - STATO LIMITE SLO

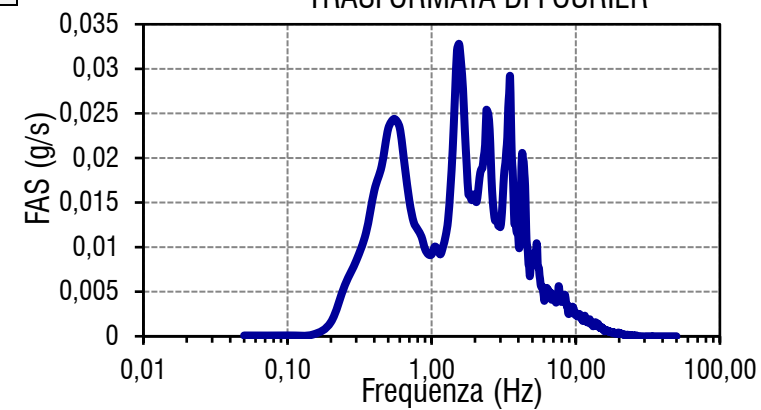
FUNZIONE DI TRASFERIMENTO



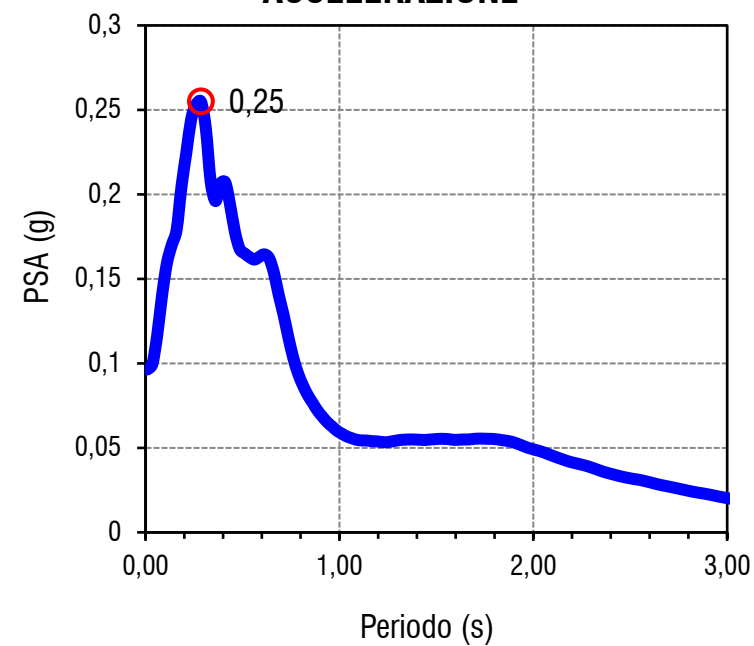
RAPPORTO SPETTRALE



TRASFORMATA DI FOURIER



ACCELERAZIONE

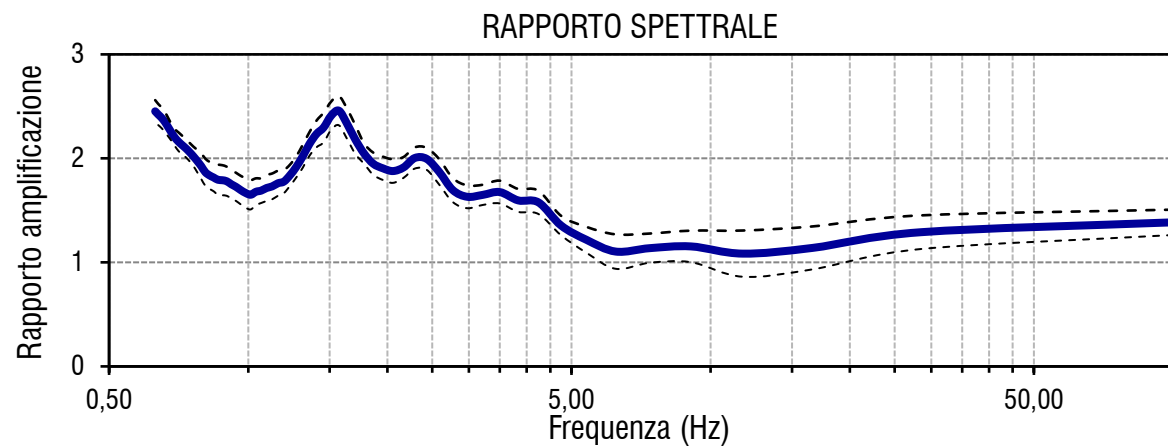
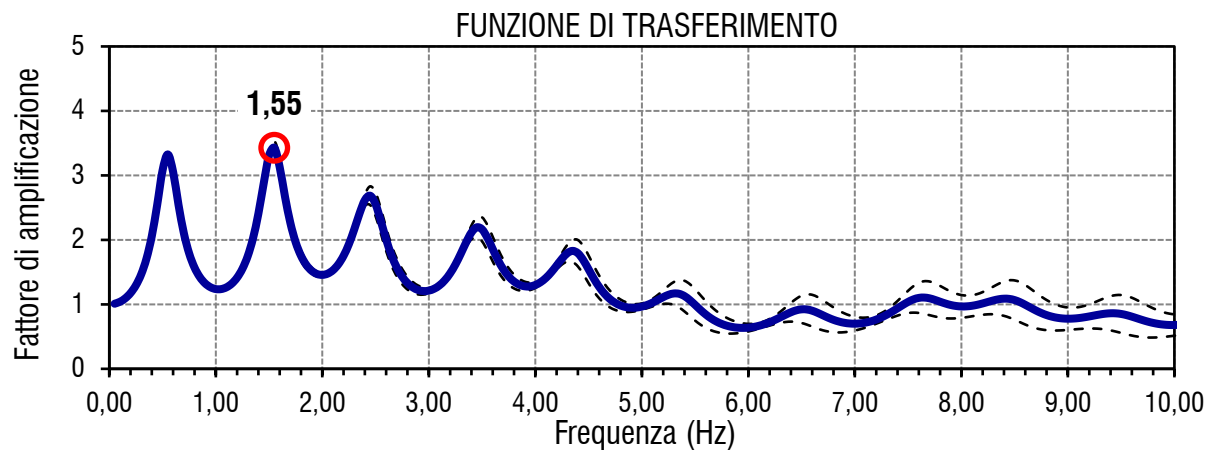




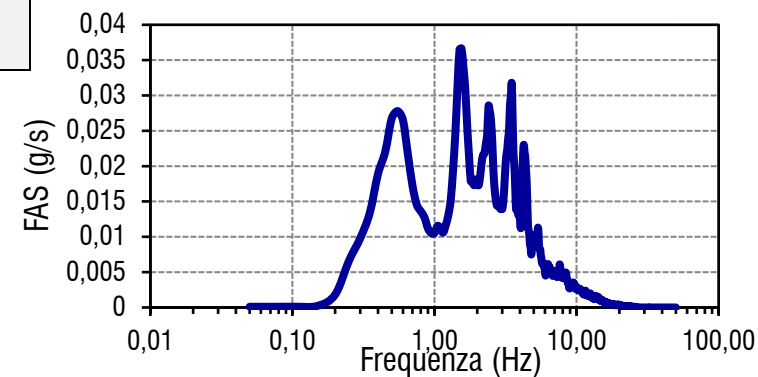
N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
N12001013951	CX00RL0001	0	40	60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

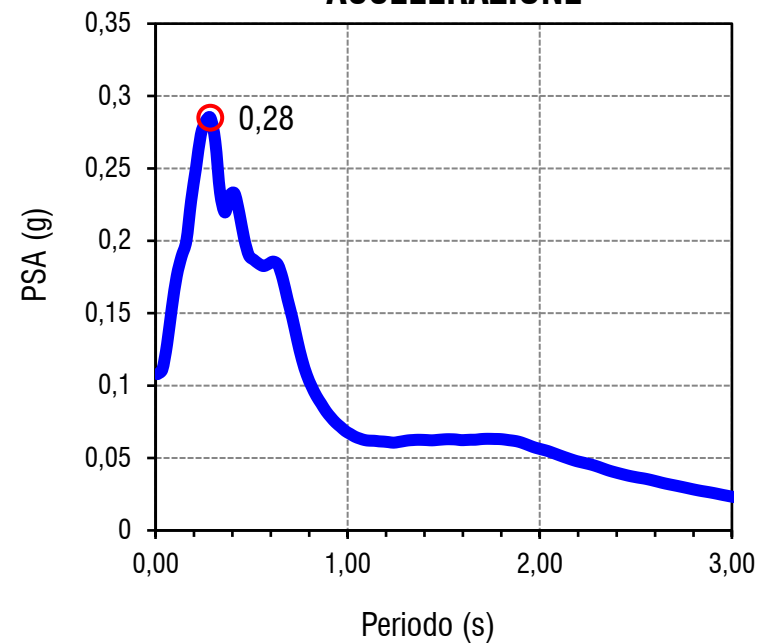
ESITI ANALISI RSL - STATO LIMITE SLD



TRASFORMATA DI FOURIER



ACCELERAZIONE





N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

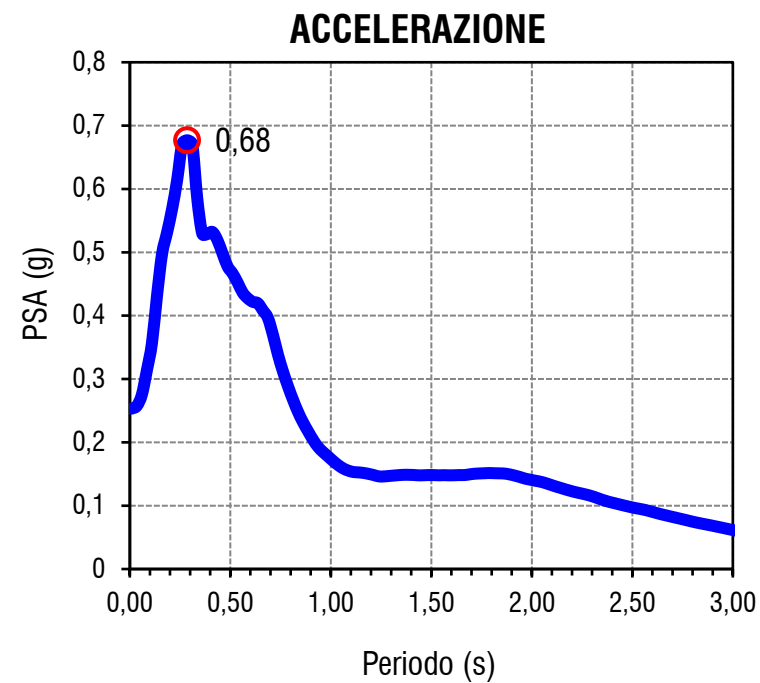
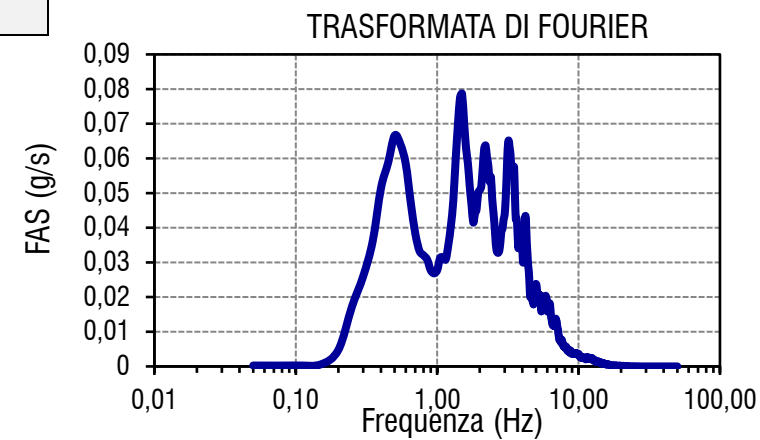
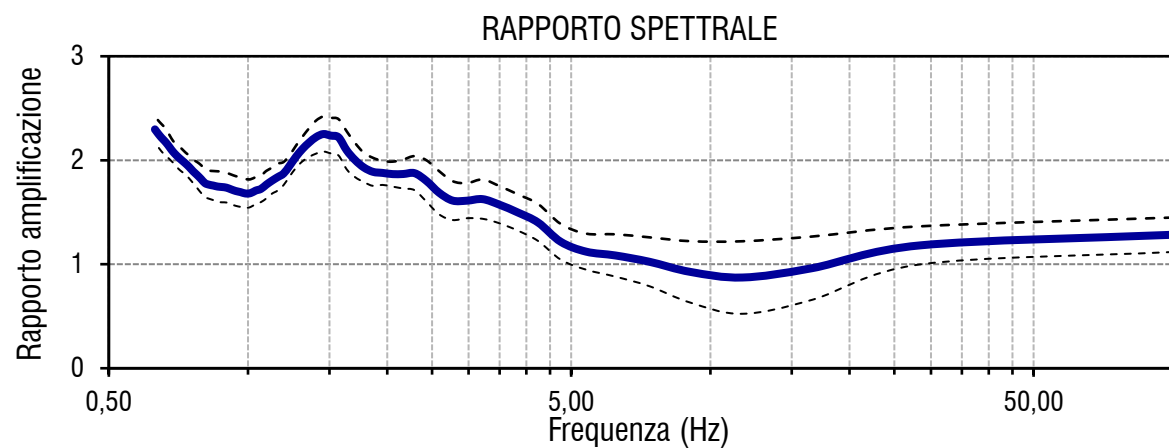
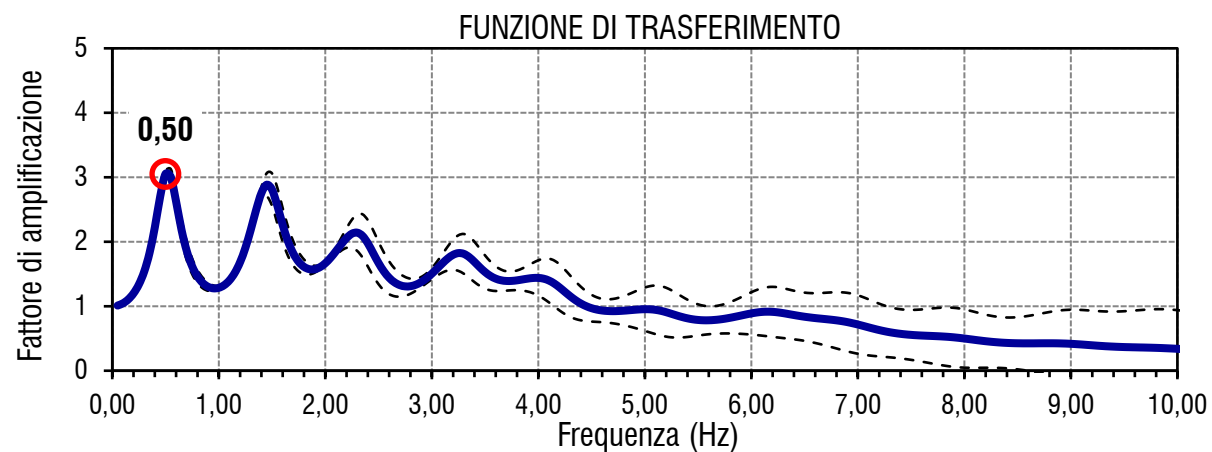
N° FG. (SH. N.)

41

DI (LAST)

60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

ESITI ANALISI RSL - STATO LIMITE SLV



N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

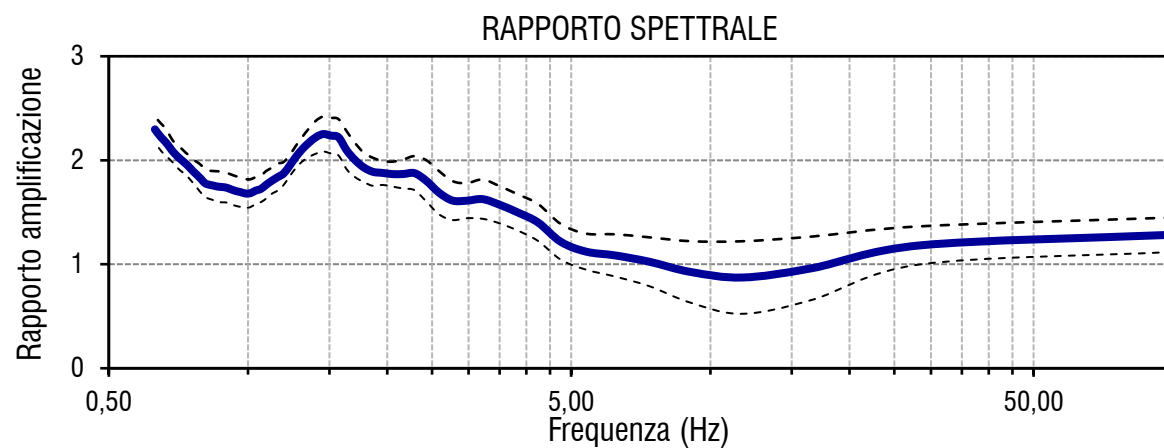
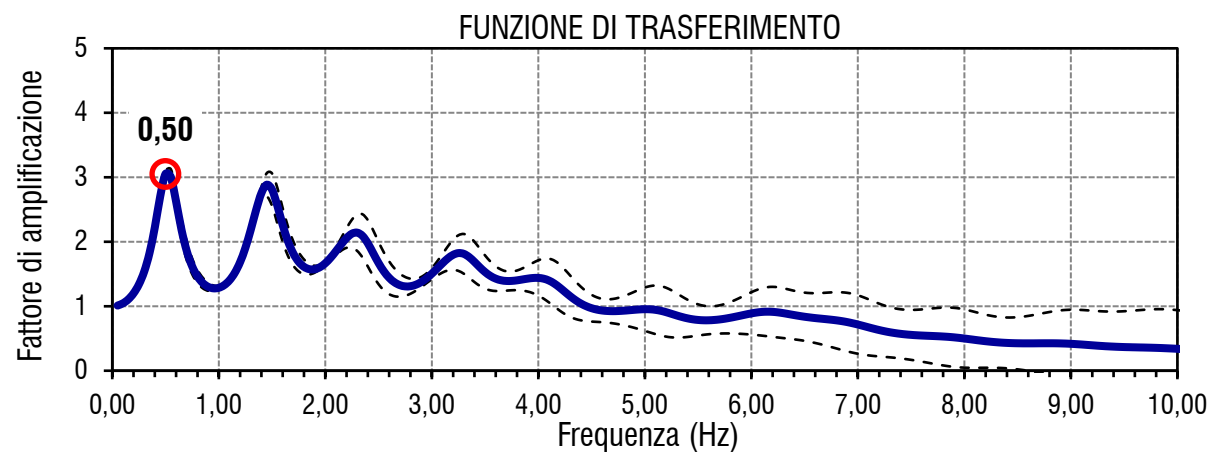
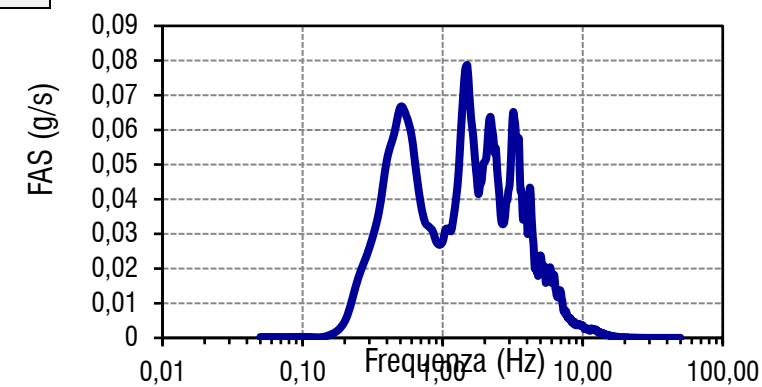
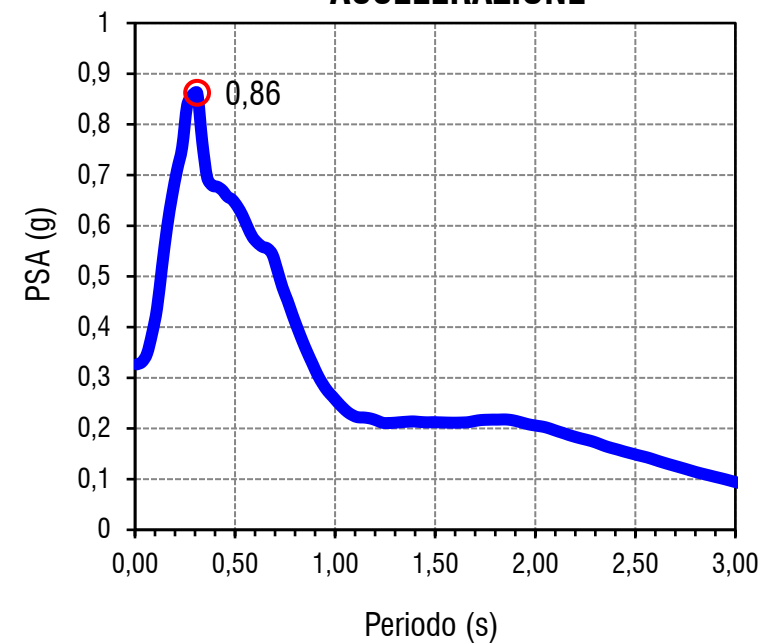
N° FG. (SH. N.)


42

DI (LAST)


60

REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

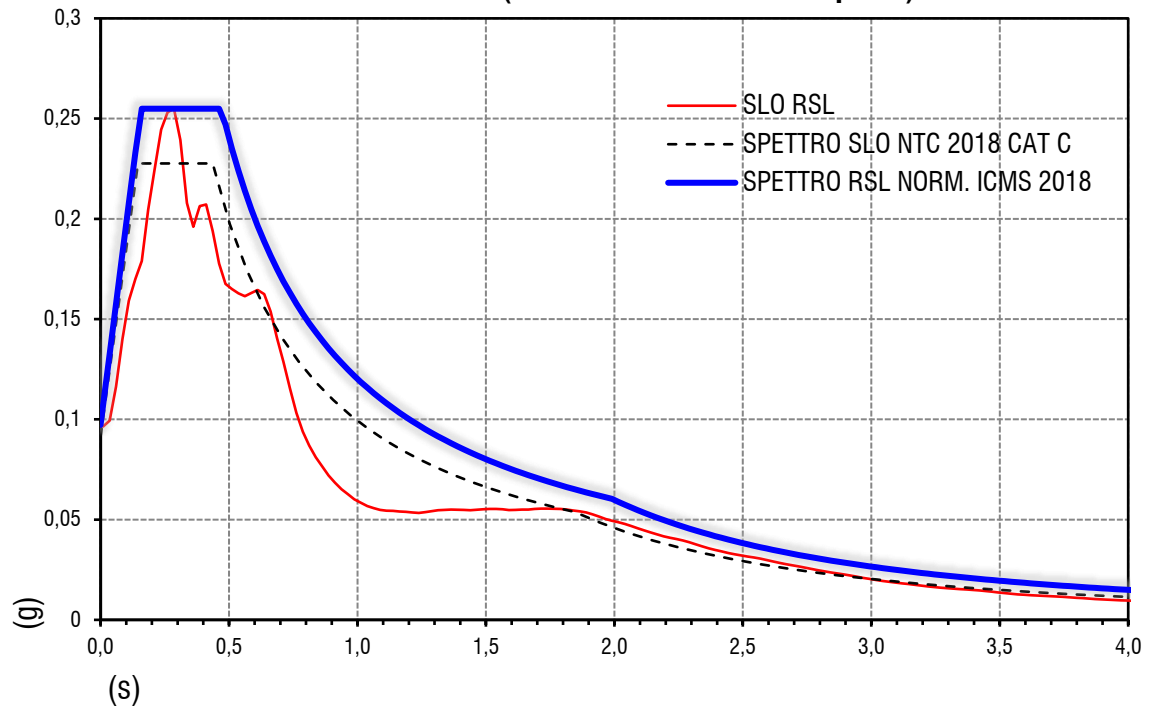
ESITI ANALISI RSL - STATO LIMITE SLC**TRASFORMATA DI FOURIER****ACCELERAZIONE**

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	43	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

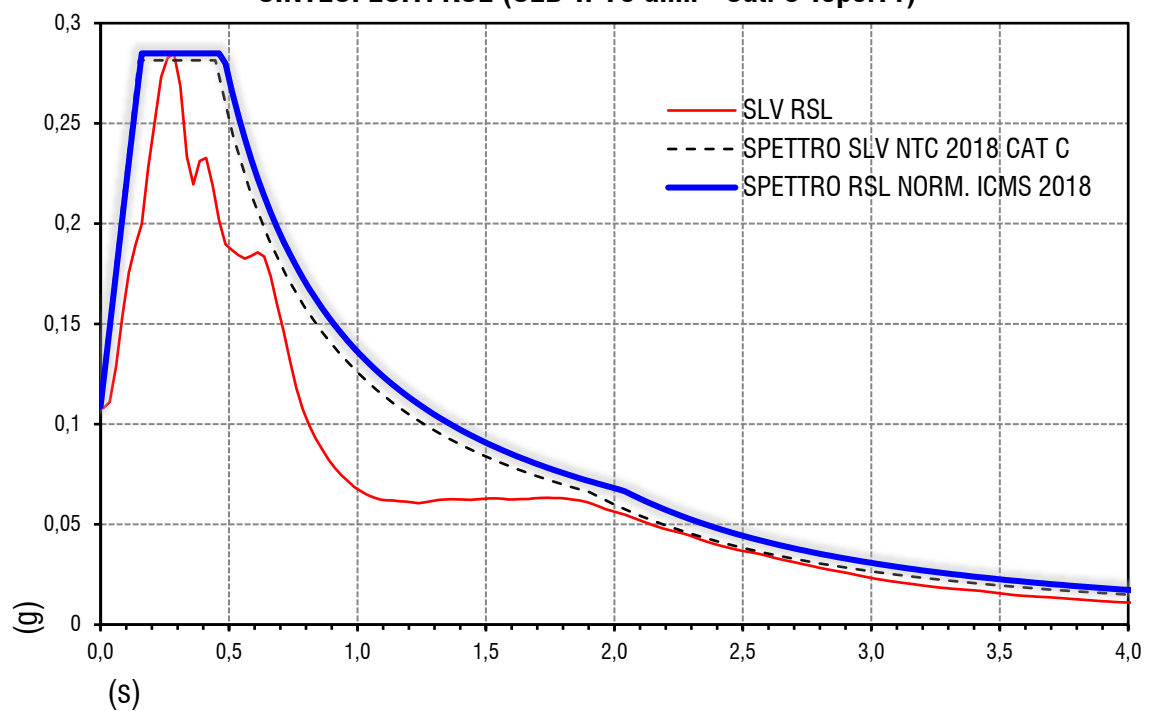
Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute all'Allegato n. 1 nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".


					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	44	60
	REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

SINTESI ESITI RSL (SLO Tr 45 anni - Cat. C Topo.T1)

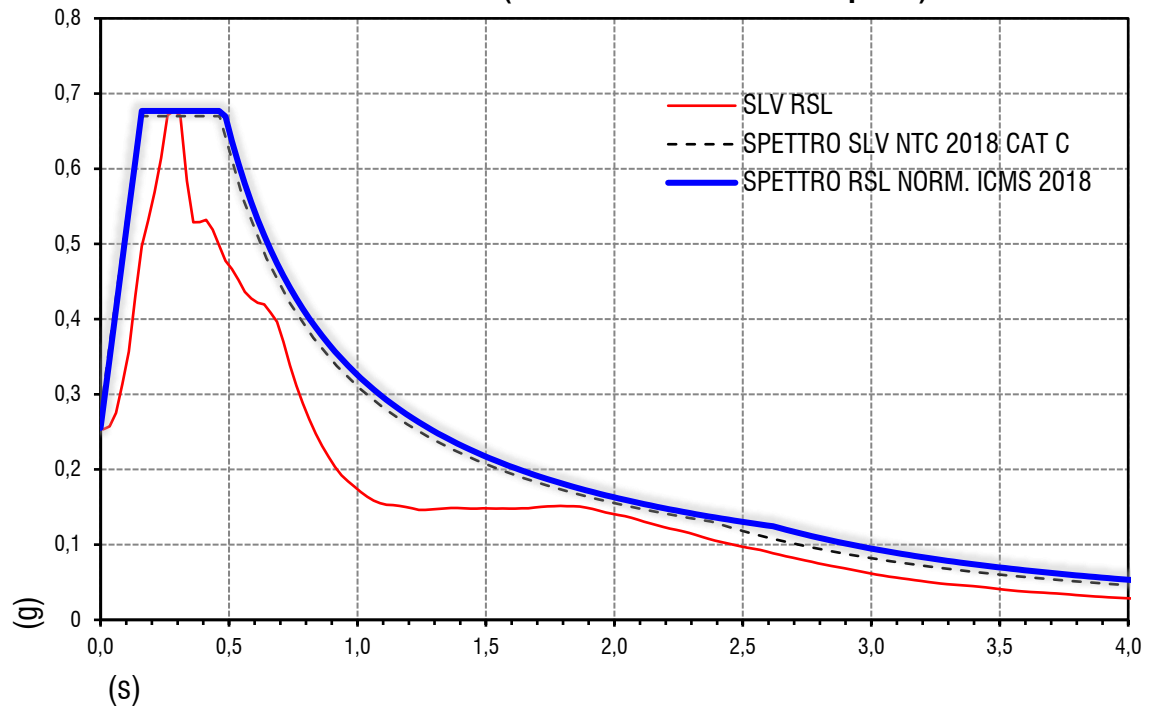


SINTESI ESITI RSL (SLD Tr 75 anni - Cat. C Topo.T1)

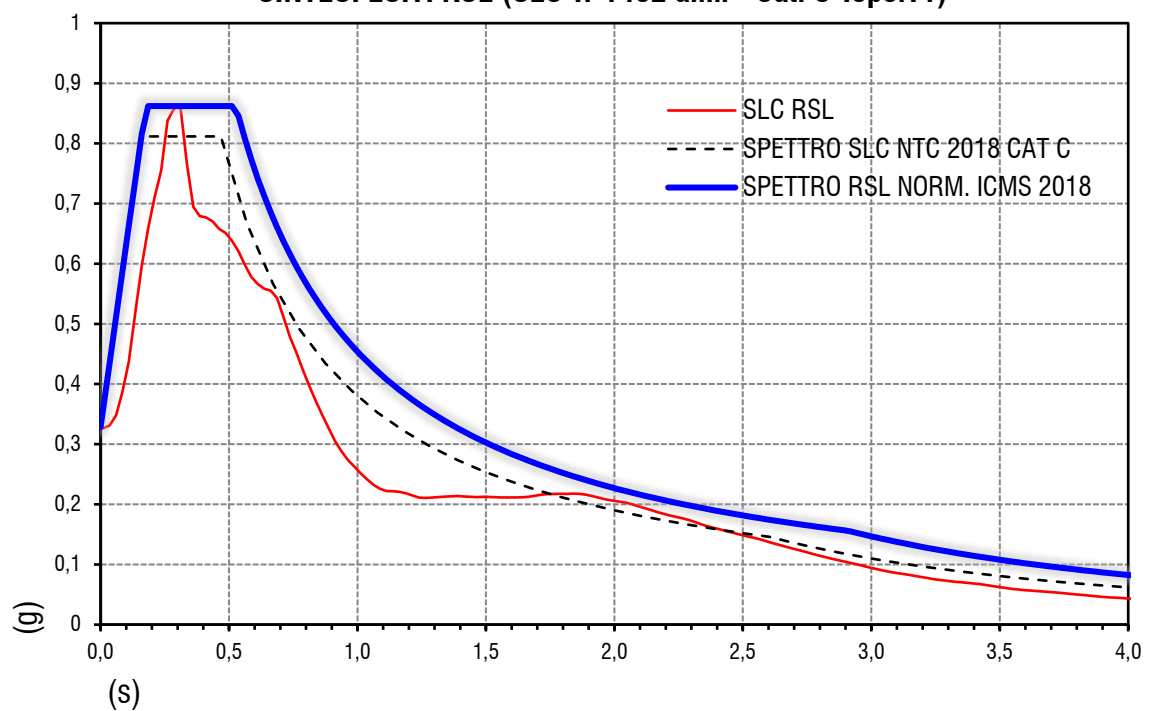



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	45	60
	REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS				

SINTESI ESITI RSL (SLV Tr 712 anni - Cat. C Topo.T1)




SINTESI ESITI RSL (SLC Tr 1462 anni - Cat. C Topo.T1)



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	46	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					


SLO			
Tr	Ag (g)	S	Fo
45	0.061	1.59	2.644
Ta	Tb	Tc	Td
0.000	0.157	0.471	1.989

SLO															
RSL SLO		RSL NORM SLO		RSL SLO		RSL NORM SLO		RSL SLO		RSL NORM SLO		RSL SLO		RSL NORM SLO	
T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.010	0.096	0.000	0.097	1.013	0.058	1.013	0.119	2.016	0.049	2.016	0.059	3.019	0.020	3.019	0.026
0.035	0.099	0.035	0.132	1.038	0.057	1.038	0.116	2.041	0.048	2.041	0.057	3.044	0.019	3.044	0.026
0.060	0.116	0.060	0.158	1.063	0.056	1.063	0.113	2.066	0.047	2.066	0.056	3.069	0.019	3.069	0.025
0.085	0.140	0.085	0.183	1.088	0.055	1.088	0.110	2.091	0.046	2.091	0.055	3.094	0.019	3.094	0.025
0.110	0.159	0.110	0.208	1.113	0.054	1.113	0.108	2.116	0.045	2.116	0.053	3.119	0.018	3.119	0.025
0.135	0.170	0.135	0.233	1.138	0.054	1.138	0.106	2.141	0.044	2.141	0.052	3.144	0.018	3.144	0.024
0.160	0.179	0.160	0.255	1.163	0.054	1.163	0.103	2.166	0.043	2.166	0.051	3.169	0.017	3.169	0.024
0.186	0.205	0.186	0.255	1.189	0.054	1.189	0.101	2.192	0.042	2.192	0.050	3.195	0.017	3.195	0.023
0.211	0.225	0.211	0.255	1.214	0.054	1.214	0.099	2.217	0.041	2.217	0.049	3.220	0.017	3.220	0.023
0.236	0.245	0.236	0.255	1.239	0.053	1.239	0.097	2.242	0.040	2.242	0.048	3.245	0.016	3.245	0.023
0.261	0.253	0.261	0.255	1.264	0.054	1.264	0.095	2.267	0.040	2.267	0.047	3.270	0.016	3.270	0.022
0.286	0.255	0.286	0.255	1.289	0.054	1.289	0.093	2.292	0.039	2.292	0.046	3.295	0.016	3.295	0.022
0.311	0.239	0.311	0.255	1.314	0.055	1.314	0.091	2.317	0.038	2.317	0.045	3.320	0.016	3.320	0.022
0.336	0.208	0.336	0.255	1.339	0.055	1.339	0.090	2.342	0.037	2.342	0.044	3.345	0.015	3.345	0.021
0.361	0.196	0.361	0.255	1.364	0.055	1.364	0.088	2.367	0.036	2.367	0.043	3.370	0.015	3.370	0.021
0.386	0.206	0.386	0.255	1.389	0.055	1.389	0.087	2.392	0.035	2.392	0.042	3.395	0.015	3.395	0.021
0.411	0.207	0.411	0.255	1.414	0.055	1.414	0.085	2.417	0.034	2.417	0.041	3.420	0.015	3.420	0.020
0.436	0.194	0.436	0.255	1.439	0.055	1.439	0.084	2.442	0.033	2.442	0.040	3.445	0.014	3.445	0.020
0.461	0.178	0.461	0.255	1.464	0.055	1.464	0.082	2.467	0.033	2.467	0.039	3.470	0.014	3.470	0.020
0.486	0.168	0.486	0.247	1.489	0.055	1.489	0.081	2.492	0.032	2.492	0.038	3.495	0.014	3.495	0.020
0.512	0.165	0.512	0.235	1.515	0.055	1.515	0.079	2.518	0.032	2.518	0.038	3.521	0.013	3.521	0.019
0.537	0.163	0.537	0.224	1.540	0.055	1.540	0.078	2.543	0.031	2.543	0.037	3.546	0.013	3.546	0.019
0.562	0.161	0.562	0.214	1.565	0.055	1.565	0.077	2.568	0.031	2.568	0.036	3.571	0.013	3.571	0.019
0.587	0.163	0.587	0.205	1.590	0.055	1.590	0.076	2.593	0.030	2.593	0.036	3.596	0.013	3.596	0.018
0.612	0.165	0.612	0.196	1.615	0.055	1.615	0.074	2.618	0.029	2.618	0.035	3.621	0.012	3.621	0.018
0.637	0.162	0.637	0.189	1.640	0.055	1.640	0.073	2.643	0.028	2.643	0.034	3.646	0.012	3.646	0.018
0.662	0.154	0.662	0.182	1.665	0.055	1.665	0.072	2.668	0.028	2.668	0.034	3.671	0.012	3.671	0.018
0.687	0.141	0.687	0.175	1.690	0.055	1.690	0.071	2.693	0.027	2.693	0.033	3.696	0.012	3.696	0.018
0.712	0.129	0.712	0.169	1.715	0.055	1.715	0.070	2.718	0.027	2.718	0.032	3.721	0.012	3.721	0.017
0.737	0.115	0.737	0.163	1.740	0.055	1.740	0.069	2.743	0.026	2.743	0.032	3.746	0.011	3.746	0.017
0.762	0.103	0.762	0.158	1.765	0.055	1.765	0.068	2.768	0.025	2.768	0.031	3.771	0.011	3.771	0.017
0.787	0.094	0.787	0.153	1.790	0.055	1.790	0.067	2.793	0.025	2.793	0.031	3.796	0.011	3.796	0.017
0.812	0.087	0.812	0.148	1.815	0.055	1.815	0.066	2.818	0.024	2.818	0.030	3.821	0.011	3.821	0.016
0.837	0.081	0.837	0.144	1.841	0.055	1.841	0.065	2.844	0.024	2.844	0.030	3.847	0.011	3.847	0.016
0.863	0.077	0.863	0.139	1.866	0.054	1.866	0.064	2.869	0.023	2.869	0.029	3.872	0.010	3.872	0.016
0.888	0.072	0.888	0.135	1.891	0.054	1.891	0.064	2.894	0.023	2.894	0.029	3.897	0.010	3.897	0.016
0.913	0.068	0.913	0.132	1.916	0.053	1.916	0.063	2.919	0.022	2.919	0.028	3.922	0.010	3.922	0.016
0.938	0.065	0.938	0.128	1.941	0.051	1.941	0.062	2.944	0.022	2.944	0.028	3.947	0.010	3.947	0.015
0.963	0.063	0.963	0.125	1.966	0.050	1.966	0.061	2.969	0.021	2.969	0.027	3.972	0.010	3.972	0.015
0.988	0.060	0.988	0.122	1.991	0.049	1.991	0.060	2.994	0.020	2.994	0.027	3.997	0.010	3.997	0.015

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	47	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					


SLD			
Tr	Ag (g)	S	Fo
75	0.076	1.43	2.640
Ta	Tb	Tc	Td
0.000	0.159	0.478	2.035

SLD															
RSL SLD		RSL NORM SLD		RSL SLD		RSL NORM SLD		RSL SLD		RSL NORM SLD		RSL SLD		RSL NORM SLD	
T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.010	0.108	0.000	0.109	1.013	0.067	1.013	0.134	2.016	0.056	2.016	0.068	3.019	0.023	3.019	0.030
0.035	0.111	0.035	0.148	1.038	0.065	1.038	0.131	2.041	0.055	2.041	0.067	3.044	0.022	3.044	0.030
0.060	0.129	0.060	0.175	1.063	0.063	1.063	0.128	2.066	0.054	2.066	0.065	3.069	0.022	3.069	0.029
0.085	0.154	0.085	0.203	1.088	0.062	1.088	0.125	2.091	0.052	2.091	0.063	3.094	0.021	3.094	0.029
0.110	0.176	0.110	0.231	1.113	0.062	1.113	0.122	2.116	0.051	2.116	0.062	3.119	0.021	3.119	0.028
0.135	0.189	0.135	0.259	1.138	0.062	1.138	0.120	2.141	0.050	2.141	0.060	3.144	0.021	3.144	0.028
0.160	0.200	0.160	0.285	1.163	0.062	1.163	0.117	2.166	0.049	2.166	0.059	3.169	0.020	3.169	0.028
0.186	0.228	0.186	0.285	1.189	0.061	1.189	0.115	2.192	0.048	2.192	0.058	3.195	0.020	3.195	0.027
0.211	0.250	0.211	0.285	1.214	0.061	1.214	0.112	2.217	0.047	2.217	0.056	3.220	0.019	3.220	0.027
0.236	0.273	0.236	0.285	1.239	0.061	1.239	0.110	2.242	0.046	2.242	0.055	3.245	0.019	3.245	0.026
0.261	0.283	0.261	0.285	1.264	0.061	1.264	0.108	2.267	0.045	2.267	0.054	3.270	0.018	3.270	0.026
0.286	0.285	0.286	0.285	1.289	0.062	1.289	0.106	2.292	0.044	2.292	0.053	3.295	0.018	3.295	0.026
0.311	0.269	0.311	0.285	1.314	0.062	1.314	0.104	2.317	0.043	2.317	0.052	3.320	0.018	3.320	0.025
0.336	0.233	0.336	0.285	1.339	0.062	1.339	0.102	2.342	0.042	2.342	0.051	3.345	0.018	3.345	0.025
0.361	0.220	0.361	0.285	1.364	0.063	1.364	0.100	2.367	0.041	2.367	0.049	3.370	0.017	3.370	0.024
0.386	0.231	0.386	0.285	1.389	0.063	1.389	0.098	2.392	0.040	2.392	0.048	3.395	0.017	3.395	0.024
0.411	0.233	0.411	0.285	1.414	0.062	1.414	0.096	2.417	0.039	2.417	0.047	3.420	0.017	3.420	0.024
0.436	0.219	0.436	0.285	1.439	0.062	1.439	0.095	2.442	0.038	2.442	0.046	3.445	0.017	3.445	0.023
0.461	0.202	0.461	0.285	1.464	0.062	1.464	0.093	2.467	0.038	2.467	0.046	3.470	0.016	3.470	0.023
0.486	0.190	0.486	0.280	1.489	0.063	1.489	0.091	2.492	0.037	2.492	0.045	3.495	0.016	3.495	0.023
0.512	0.187	0.512	0.266	1.515	0.063	1.515	0.090	2.518	0.036	2.518	0.044	3.521	0.015	3.521	0.022
0.537	0.184	0.537	0.254	1.540	0.063	1.540	0.088	2.543	0.036	2.543	0.043	3.546	0.015	3.546	0.022
0.562	0.183	0.562	0.242	1.565	0.063	1.565	0.087	2.568	0.035	2.568	0.042	3.571	0.015	3.571	0.022
0.587	0.184	0.587	0.232	1.590	0.062	1.590	0.086	2.593	0.034	2.593	0.041	3.596	0.014	3.596	0.021
0.612	0.186	0.612	0.223	1.615	0.062	1.615	0.084	2.618	0.034	2.618	0.040	3.621	0.014	3.621	0.021
0.637	0.184	0.637	0.214	1.640	0.063	1.640	0.083	2.643	0.033	2.643	0.040	3.646	0.014	3.646	0.021
0.662	0.174	0.662	0.206	1.665	0.063	1.665	0.082	2.668	0.032	2.668	0.039	3.671	0.014	3.671	0.021
0.687	0.160	0.687	0.198	1.690	0.063	1.690	0.081	2.693	0.031	2.693	0.038	3.696	0.014	3.696	0.020
0.712	0.147	0.712	0.191	1.715	0.063	1.715	0.079	2.718	0.031	2.718	0.038	3.721	0.013	3.721	0.020
0.737	0.132	0.737	0.185	1.740	0.063	1.740	0.078	2.743	0.030	2.743	0.037	3.746	0.013	3.746	0.020
0.762	0.118	0.762	0.179	1.765	0.063	1.765	0.077	2.768	0.029	2.768	0.036	3.771	0.013	3.771	0.019
0.787	0.107	0.787	0.173	1.790	0.063	1.790	0.076	2.793	0.029	2.793	0.036	3.796	0.013	3.796	0.019
0.812	0.099	0.812	0.168	1.815	0.063	1.815	0.075	2.818	0.028	2.818	0.035	3.821	0.012	3.821	0.019
0.837	0.093	0.837	0.163	1.841	0.062	1.841	0.074	2.844	0.027	2.844	0.034	3.847	0.012	3.847	0.019
0.863	0.087	0.863	0.158	1.866	0.062	1.866	0.073	2.869	0.027	2.869	0.034	3.872	0.012	3.872	0.018
0.888	0.082	0.888	0.153	1.891	0.061	1.891	0.072	2.894	0.026	2.894	0.033	3.897	0.012	3.897	0.018
0.913	0.078	0.913	0.149	1.916	0.060	1.916	0.071	2.919	0.025	2.919	0.033	3.922	0.012	3.922	0.018
0.938	0.074	0.938	0.145	1.941	0.059	1.941	0.070	2.944	0.025	2.944	0.032	3.947	0.011	3.947	0.018
0.963	0.072	0.963	0.141	1.966	0.058	1.966	0.069	2.969	0.024	2.969	0.031	3.972	0.011	3.972	0.018
0.988	0.069	0.988	0.138	1.991	0.057	1.991	0.068	2.994	0.023	2.994	0.031	3.997	0.011	3.997	0.017

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	48	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					


SLV			
Tr	Ag (g)	S	Fo
712	0.194	1.32	2.673
Ta	Tb	Tc	Td
0.000	0.160	0.481	2.621

SLV															
RSL SLV		RSL NORM SLV		RSL SLV		RSL NORM SLV		RSL SLV		RSL NORM SLV		RSL SLV		RSL NORM SLV	
T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.010	0.253	0.000	0.255	1.013	0.170	1.013	0.322	2.016	0.139	2.016	0.162	3.019	0.060	3.019	0.094
0.035	0.257	0.035	0.347	1.038	0.164	1.038	0.314	2.041	0.138	2.041	0.160	3.044	0.059	3.044	0.092
0.060	0.275	0.060	0.413	1.063	0.159	1.063	0.306	2.066	0.136	2.066	0.158	3.069	0.058	3.069	0.091
0.085	0.314	0.085	0.479	1.088	0.155	1.088	0.299	2.091	0.133	2.091	0.156	3.094	0.056	3.094	0.089
0.110	0.357	0.110	0.545	1.113	0.153	1.113	0.293	2.116	0.131	2.116	0.154	3.119	0.055	3.119	0.088
0.135	0.431	0.135	0.611	1.138	0.153	1.138	0.286	2.141	0.128	2.141	0.152	3.144	0.054	3.144	0.086
0.160	0.497	0.160	0.677	1.163	0.152	1.163	0.280	2.166	0.126	2.166	0.150	3.169	0.053	3.169	0.085
0.186	0.531	0.186	0.677	1.189	0.150	1.189	0.274	2.192	0.123	2.192	0.149	3.195	0.052	3.195	0.084
0.211	0.569	0.211	0.677	1.214	0.148	1.214	0.268	2.217	0.121	2.217	0.147	3.220	0.050	3.220	0.082
0.236	0.614	0.236	0.677	1.239	0.146	1.239	0.263	2.242	0.120	2.242	0.145	3.245	0.049	3.245	0.081
0.261	0.671	0.261	0.677	1.264	0.146	1.264	0.258	2.267	0.118	2.267	0.144	3.270	0.048	3.270	0.080
0.286	0.677	0.286	0.677	1.289	0.147	1.289	0.253	2.292	0.116	2.292	0.142	3.295	0.048	3.295	0.079
0.311	0.670	0.311	0.677	1.314	0.148	1.314	0.248	2.317	0.113	2.317	0.141	3.320	0.047	3.320	0.077
0.336	0.584	0.336	0.677	1.339	0.148	1.339	0.243	2.342	0.110	2.342	0.139	3.345	0.046	3.345	0.076
0.361	0.529	0.361	0.677	1.364	0.149	1.364	0.239	2.367	0.108	2.367	0.138	3.370	0.046	3.370	0.075
0.386	0.529	0.386	0.677	1.389	0.149	1.389	0.234	2.392	0.105	2.392	0.136	3.395	0.045	3.395	0.074
0.411	0.532	0.411	0.677	1.414	0.148	1.414	0.230	2.417	0.104	2.417	0.135	3.420	0.044	3.420	0.073
0.436	0.519	0.436	0.677	1.439	0.148	1.439	0.226	2.442	0.101	2.442	0.133	3.445	0.043	3.445	0.072
0.461	0.498	0.461	0.677	1.464	0.148	1.464	0.222	2.467	0.100	2.467	0.132	3.470	0.042	3.470	0.071
0.486	0.478	0.486	0.670	1.489	0.148	1.489	0.219	2.492	0.098	2.492	0.131	3.495	0.041	3.495	0.070
0.512	0.467	0.512	0.637	1.515	0.148	1.515	0.215	2.518	0.096	2.518	0.129	3.521	0.040	3.521	0.069
0.537	0.452	0.537	0.607	1.540	0.148	1.540	0.212	2.543	0.095	2.543	0.128	3.546	0.039	3.546	0.068
0.562	0.436	0.562	0.580	1.565	0.148	1.565	0.208	2.568	0.093	2.568	0.127	3.571	0.038	3.571	0.067
0.587	0.427	0.587	0.555	1.590	0.148	1.590	0.205	2.593	0.091	2.593	0.126	3.596	0.038	3.596	0.066
0.612	0.422	0.612	0.532	1.615	0.148	1.615	0.202	2.618	0.089	2.618	0.124	3.621	0.037	3.621	0.065
0.637	0.420	0.637	0.511	1.640	0.148	1.640	0.199	2.643	0.087	2.643	0.122	3.646	0.037	3.646	0.064
0.662	0.408	0.662	0.492	1.665	0.148	1.665	0.196	2.668	0.085	2.668	0.120	3.671	0.036	3.671	0.063
0.687	0.396	0.687	0.474	1.690	0.149	1.690	0.193	2.693	0.083	2.693	0.118	3.696	0.036	3.696	0.062
0.712	0.370	0.712	0.457	1.715	0.150	1.715	0.190	2.718	0.081	2.718	0.116	3.721	0.035	3.721	0.062
0.737	0.338	0.737	0.442	1.740	0.151	1.740	0.187	2.743	0.079	2.743	0.113	3.746	0.034	3.746	0.061
0.762	0.312	0.762	0.427	1.765	0.151	1.765	0.185	2.768	0.077	2.768	0.111	3.771	0.034	3.771	0.060
0.787	0.288	0.787	0.414	1.790	0.151	1.790	0.182	2.793	0.075	2.793	0.109	3.796	0.033	3.796	0.059
0.812	0.267	0.812	0.401	1.815	0.151	1.815	0.179	2.818	0.073	2.818	0.107	3.821	0.032	3.821	0.058
0.837	0.248	0.837	0.389	1.841	0.151	1.841	0.177	2.844	0.072	2.844	0.106	3.847	0.032	3.847	0.058
0.863	0.231	0.863	0.378	1.866	0.151	1.866	0.175	2.869	0.070	2.869	0.104	3.872	0.031	3.872	0.057
0.888	0.217	0.888	0.367	1.891	0.149	1.891	0.172	2.894	0.069	2.894	0.102	3.897	0.031	3.897	0.056
0.913	0.204	0.913	0.357	1.916	0.147	1.916	0.170	2.919	0.067	2.919	0.100	3.922	0.030	3.922	0.056
0.938	0.192	0.938	0.347	1.941	0.145	1.941	0.168	2.944	0.065	2.944	0.099	3.947	0.030	3.947	0.055
0.963	0.184	0.963	0.338	1.966	0.143	1.966	0.166	2.969	0.064	2.969	0.097	3.972	0.029	3.972	0.054
0.988	0.177	0.988	0.330	1.991	0.141	1.991	0.164	2.994	0.062	2.994	0.095	3.997	0.029	3.997	0.053

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	49	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

SLC			
Tr	Ag (g)	S	Fo
1462	0.294	1.32	2.641
Ta	Tb	Tc	Td
0.000	0.175	0.526	2.912

SLC															
RSL SLC		RSL NORM SLC		RSL SLC		RSL NORM SLC		RSL SLC		RSL NORM SLC		RSL SLC		RSL NORM SLC	
T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.010	0.326	0.000	0.328	1.013	0.251	1.013	0.448	2.016	0.205	2.016	0.225	3.019	0.092	3.019	0.145
0.035	0.331	0.035	0.435	1.038	0.241	1.038	0.437	2.041	0.203	2.041	0.222	3.044	0.090	3.044	0.143
0.060	0.348	0.060	0.511	1.063	0.232	1.063	0.427	2.066	0.201	2.066	0.220	3.069	0.088	3.069	0.140
0.085	0.387	0.085	0.587	1.088	0.226	1.088	0.417	2.091	0.197	2.091	0.217	3.094	0.086	3.094	0.138
0.110	0.437	0.110	0.664	1.113	0.222	1.113	0.408	2.116	0.194	2.116	0.214	3.119	0.084	3.119	0.136
0.135	0.520	0.135	0.740	1.138	0.222	1.138	0.399	2.141	0.191	2.141	0.212	3.144	0.083	3.144	0.134
0.160	0.597	0.160	0.816	1.163	0.221	1.163	0.390	2.166	0.187	2.166	0.210	3.169	0.081	3.169	0.132
0.186	0.659	0.186	0.862	1.189	0.218	1.189	0.382	2.192	0.184	2.192	0.207	3.195	0.079	3.195	0.130
0.211	0.711	0.211	0.862	1.214	0.215	1.214	0.374	2.217	0.182	2.217	0.205	3.220	0.077	3.220	0.127
0.236	0.755	0.236	0.862	1.239	0.211	1.239	0.366	2.242	0.179	2.242	0.202	3.245	0.076	3.245	0.126
0.261	0.838	0.261	0.862	1.264	0.211	1.264	0.359	2.267	0.177	2.267	0.200	3.270	0.074	3.270	0.124
0.286	0.858	0.286	0.862	1.289	0.211	1.289	0.352	2.292	0.174	2.292	0.198	3.295	0.073	3.295	0.122
0.311	0.862	0.311	0.862	1.314	0.212	1.314	0.345	2.317	0.170	2.317	0.196	3.320	0.072	3.320	0.120
0.336	0.766	0.336	0.862	1.339	0.213	1.339	0.339	2.342	0.166	2.342	0.194	3.345	0.071	3.345	0.118
0.361	0.695	0.361	0.862	1.364	0.213	1.364	0.333	2.367	0.163	2.367	0.192	3.370	0.070	3.370	0.116
0.386	0.679	0.386	0.862	1.389	0.214	1.389	0.327	2.392	0.160	2.392	0.190	3.395	0.069	3.395	0.115
0.411	0.677	0.411	0.862	1.414	0.213	1.414	0.321	2.417	0.158	2.417	0.188	3.420	0.067	3.420	0.113
0.436	0.670	0.436	0.862	1.439	0.212	1.439	0.315	2.442	0.155	2.442	0.186	3.445	0.066	3.445	0.111
0.461	0.658	0.461	0.862	1.464	0.212	1.464	0.310	2.467	0.152	2.467	0.184	3.470	0.064	3.470	0.110
0.486	0.651	0.486	0.862	1.489	0.212	1.489	0.305	2.492	0.149	2.492	0.182	3.495	0.063	3.495	0.108
0.512	0.638	0.512	0.862	1.515	0.212	1.515	0.300	2.518	0.147	2.518	0.180	3.521	0.061	3.521	0.107
0.537	0.621	0.537	0.846	1.540	0.212	1.540	0.295	2.543	0.144	2.543	0.179	3.546	0.060	3.546	0.105
0.562	0.598	0.562	0.808	1.565	0.212	1.565	0.290	2.568	0.142	2.568	0.177	3.571	0.058	3.571	0.104
0.587	0.578	0.587	0.774	1.590	0.211	1.590	0.286	2.593	0.139	2.593	0.175	3.596	0.057	3.596	0.102
0.612	0.566	0.612	0.742	1.615	0.212	1.615	0.281	2.618	0.135	2.618	0.173	3.621	0.056	3.621	0.101
0.637	0.559	0.637	0.713	1.640	0.212	1.640	0.277	2.643	0.132	2.643	0.172	3.646	0.056	3.646	0.099
0.662	0.555	0.662	0.686	1.665	0.212	1.665	0.273	2.668	0.129	2.668	0.170	3.671	0.055	3.671	0.098
0.687	0.543	0.687	0.661	1.690	0.214	1.690	0.269	2.693	0.127	2.693	0.169	3.696	0.054	3.696	0.097
0.712	0.512	0.712	0.637	1.715	0.216	1.715	0.265	2.718	0.124	2.718	0.167	3.721	0.053	3.721	0.095
0.737	0.478	0.737	0.616	1.740	0.217	1.740	0.261	2.743	0.121	2.743	0.165	3.746	0.052	3.746	0.094
0.762	0.452	0.762	0.595	1.765	0.217	1.765	0.257	2.768	0.118	2.768	0.164	3.771	0.051	3.771	0.093
0.787	0.424	0.787	0.577	1.790	0.217	1.790	0.254	2.793	0.115	2.793	0.162	3.796	0.050	3.796	0.092
0.812	0.397	0.812	0.559	1.815	0.217	1.815	0.250	2.818	0.112	2.818	0.161	3.821	0.049	3.821	0.090
0.837	0.372	0.837	0.542	1.841	0.218	1.841	0.247	2.844	0.110	2.844	0.160	3.847	0.048	3.847	0.089
0.863	0.349	0.863	0.526	1.866	0.217	1.866	0.243	2.869	0.107	2.869	0.158	3.872	0.047	3.872	0.088
0.888	0.327	0.888	0.511	1.891	0.216	1.891	0.240	2.894	0.105	2.894	0.157	3.897	0.046	3.897	0.087
0.913	0.306	0.913	0.497	1.916	0.214	1.916	0.237	2.919	0.103	2.919	0.155	3.922	0.046	3.922	0.086
0.938	0.288	0.938	0.484	1.941	0.211	1.941	0.234	2.944	0.100	2.944	0.153	3.947	0.045	3.947	0.085
0.963	0.274	0.963	0.471	1.966	0.208	1.966	0.231	2.969	0.098	2.969	0.150	3.972	0.044	3.972	0.084
0.988	0.263	0.988	0.459	1.991	0.206	1.991	0.228	2.994	0.095	2.994	0.147	3.997	0.044	3.997	0.083

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	50	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

8 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI CO-SISMICI

8.1 STIMA DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE LPI (DGR 630/19)

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova penetrometriche CPTU. La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v = 1 \text{ atm}}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica


MSF rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

K σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

CSR è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

i termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da a_{max}/g che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a $T = 0.00$ s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo r_d . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	51	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi. Il valore CRR è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da Boulanger & Idriss 2014. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato A2.2 della DGR 630/2019 della Regione Emilia-Romagna. Le analisi di liquefazione sono state eseguite entro i - 20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (derivante dalla zonazione sismogenetica), una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.275 \text{ g}$ (NTC 2018 Categoria C) e con soggiacenza della falda freatica alla profondità di $D_w = -2.85 \text{ m}$ da p.c. . A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza FL è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:


$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

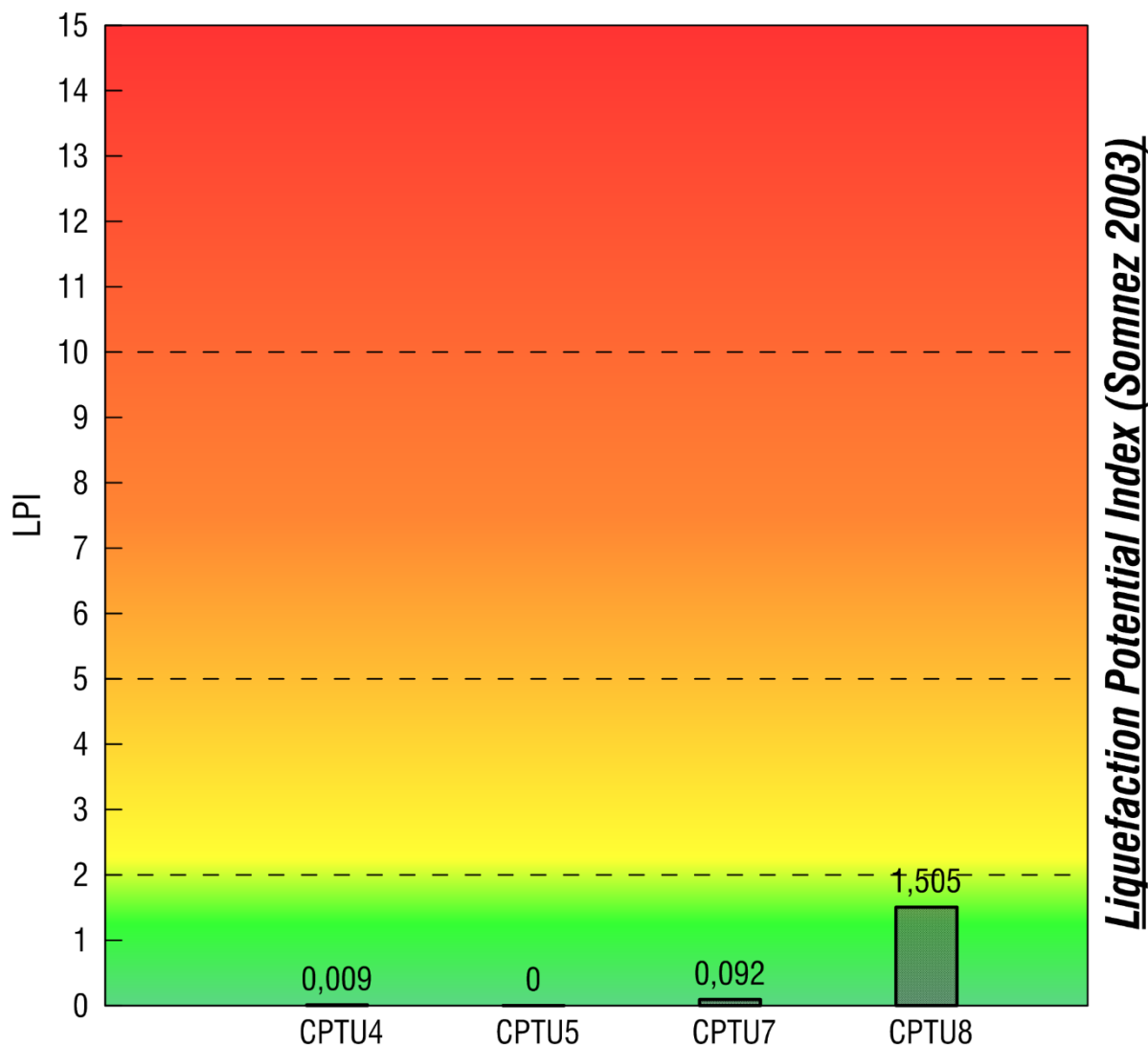
Dove $F(z)$ viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da Somnez 2003:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
$LPI=0$	Nulla
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 10$	Alto
$15 > LPI$	Molto alto

Si illustrano successivamente i valori di LPI derivati per ciascuna verticale di prova CPTU considerata ai fini delle analisi del fenomeno di liquefazione:

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	52	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					




Sulla scorta delle risultanze ottenute dalle verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione emerge che l'areale oggetto di studio risulta esposto a un rischio di liquefazione "basso".

8.2 CEDIMENTI POST-SISMICI (DGR 630/19)

Per ottemperare alla normativa regionale DGR 630/19 è stata svolta la verifica quantitativa dei cedimenti post-sismici dei livelli granulari saturi, granulari insaturi e dei livelli coesivi soffici. La verifica dei cedimenti è stata eseguita considerando la totalità delle verticali di prova CPTU eseguite. Si illustra successivamente, per via grafica, i risultati dell'analisi.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI SATURI

La stima dei cedimenti dei terreni granulari saturi è stata svolta in relazione alla resistenza alla punta delle indagini CPTU, normalizzata e corretta $(q_{c1N})_{cs}$ e del coefficiente di sicurezza alla liquefazione FL. Il cedimento post-sismico per ciascuno strato è dato da $\Delta s_i = \epsilon_{vi} \Delta z_i$. La

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	53	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

deformazione volumetrica ϵ_{vi} è stata stimata secondo la metodologia proposta da Idriss e Boulanger (2008) e dettagliata al punto B.1 dell'allegato A2.2 della DGR 630/2019.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI INSATURI

La valutazione della suscettibilità di addensamento dei terreni granulari insaturi e conseguente cedimento è stata calcolata derivando la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente N_c il cui valore è funzione della magnitudo del terremoto secondo l'equazione $N_c = (M-4)2.17$. La procedura di calcolo completa viene descritta al punto B.2 dell'allegato A2.2 della DGR 630/2019.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI COESIVI SOFFICI

I cedimenti dei livelli coesivi sono stati svolti solamente per gli strati dotati di $c_u < 70$ kPa e $I_p > 30$ %. L'entità del cedimento di ri-consolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto è stata stimata mediante la formulazione proposta da Yasyhara e Andersen (1991). In tale equazione, descritta dettagliatamente al punto B.3 dell'allegato A2.2 della DGR 630/2019, l'indice di ri-compressione C_r è stato assunto pari all'indice di rigonfiamento C_s , funzione del modulo edometrico. Nel presente caso, sulla scorta dei valori di resistenza alla punta ottenuti a seguito delle prove CPTU eseguite, il modulo edometrico è stato ricavato mediante la relazione proposta da Mitchell & Gardner (1975).

La verifica dei cedimenti sismici è stata svolta considerando una soggiacenza della falda freatica pari a $D_w = -2.85$ m da p.c. e una magnitudo di riferimento pari a 6.14. Si illustrano successivamente i valori di cedimenti post-sismici derivati:

Per la stima della portata del danneggiamento dovuto al verificarsi dei cedimenti post-sismici è possibile fare riferimento agli autori Ishihara & Yoshimine (Soils and Foundations Vol.32, No. 1, 173-188, Mar 1992 Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) (Fig. n. 10.1).

Table 1. Relation between damage extent and approximate settlements

Extent of damage	Settlements (cm)	Phenomena on the ground surface
Light to no damage	0~10	Minor cracks
Medium damage	10~30	Small cracks, oozing of sand
Extensive damage	30~70	Large cracks, spouting of sands, large offsets, lateral movement

Fig. 10.1 – Relazione tra la portata del danneggiamento e il valore di cedimento post-sismico Ishihara & Yoshimine (1992);



N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

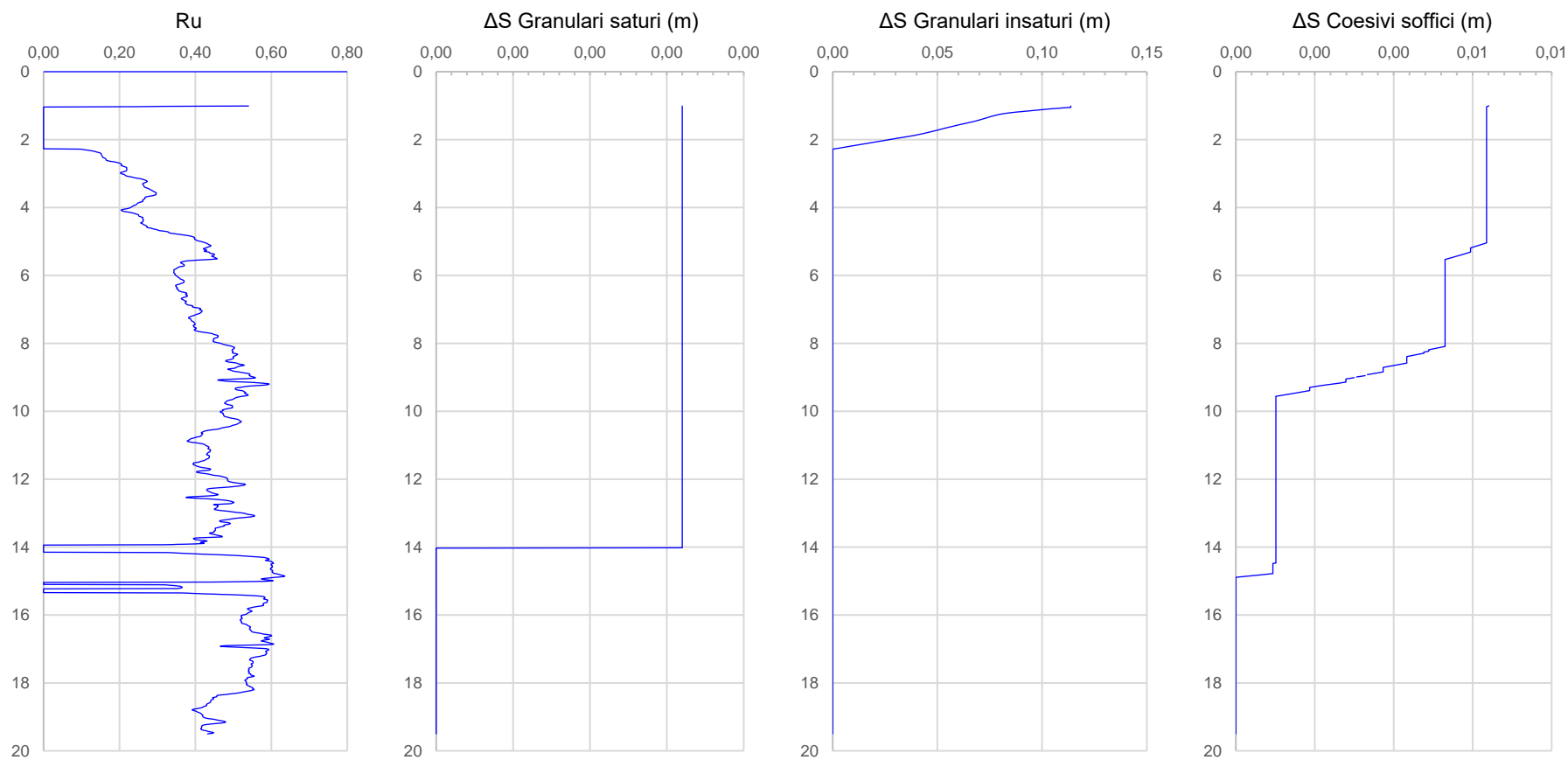
N° FG. (SH. N.)


54

DI (LAST)

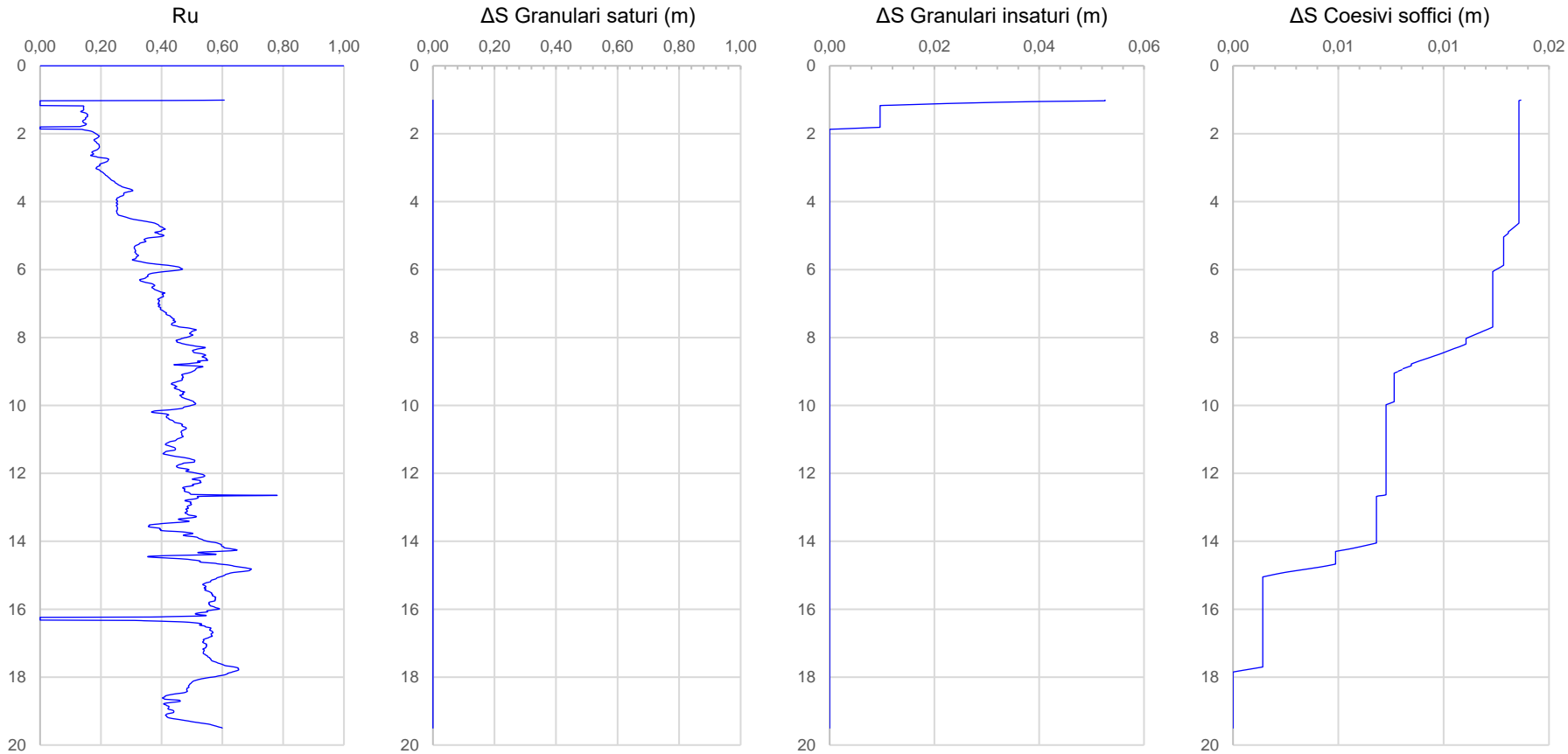
60


REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

CPTU4**Cedimenti S (cm)****Granulari saturi****0,032****Granulari insaturi****11,367****Coesivi soffici****0,641****Cedimento totale****12,041**

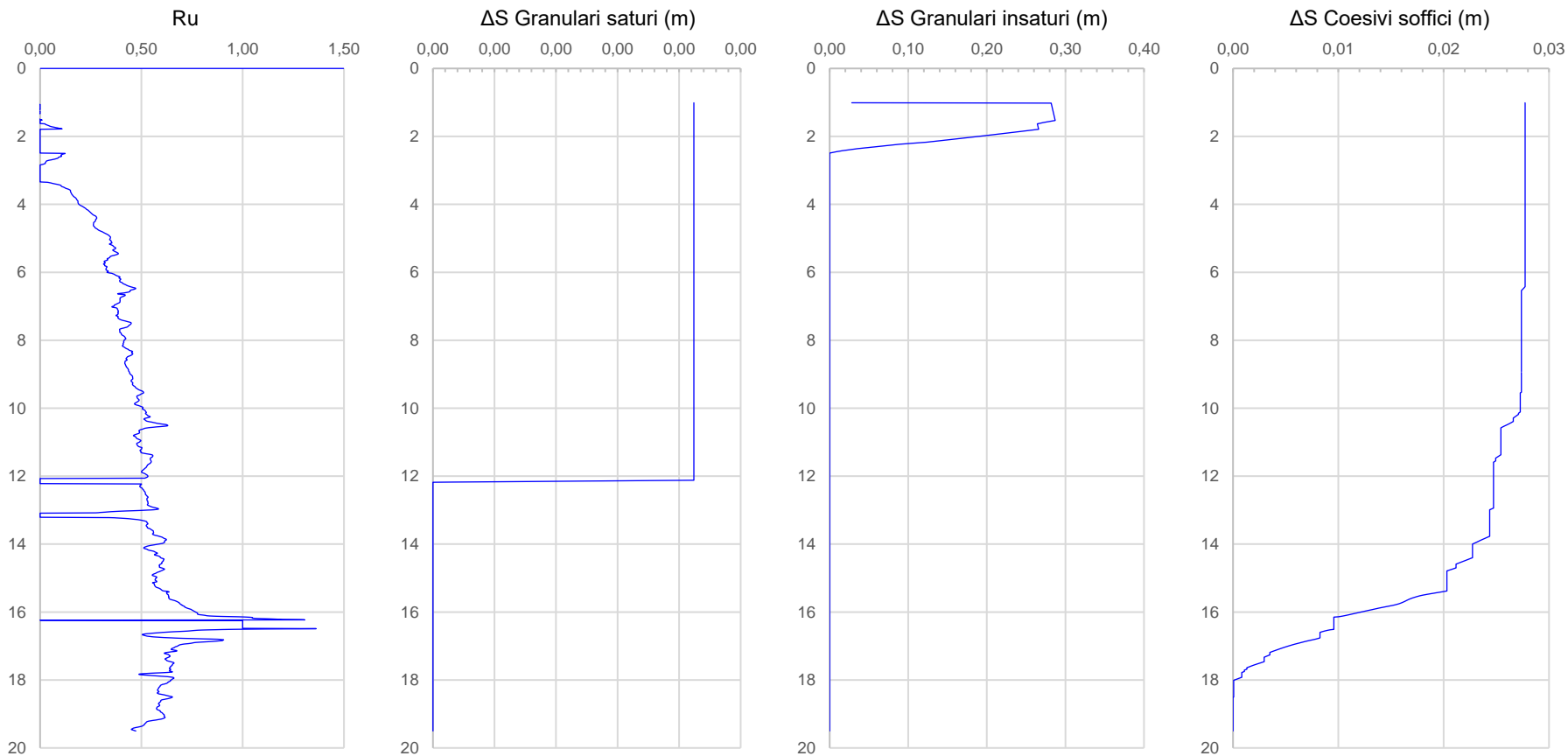
					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	55	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

CPTU5	Cedimenti S (cm)	Granulari saturi	Granulari insaturi	Coesivi soffici	Cedimento totale
		0,000	5,257	1,366	6,623



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	56	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

CPTU6	Cedimenti S (cm)	Granulari saturi	Granulari insaturi	Coesivi soffici	Cedimento totale
		0,212	2,818	2,773	5,802





N° COMMESSA (JOB N°)

N12001013951

ID DOC. (DOC. ID)

CX00RL0001

REV.

0

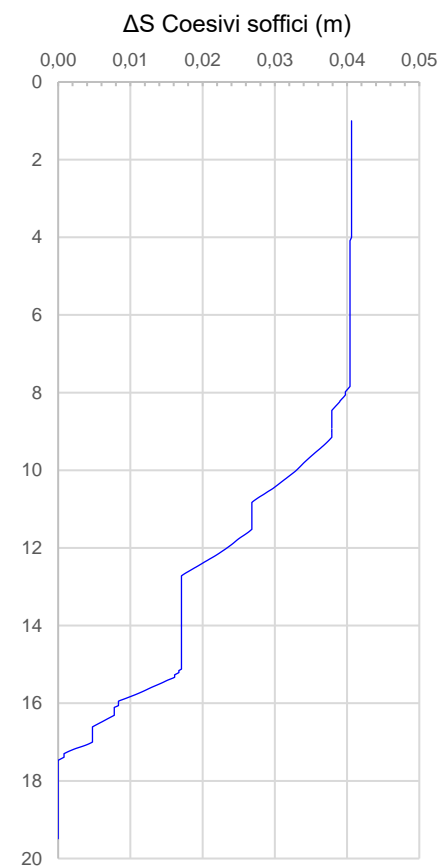
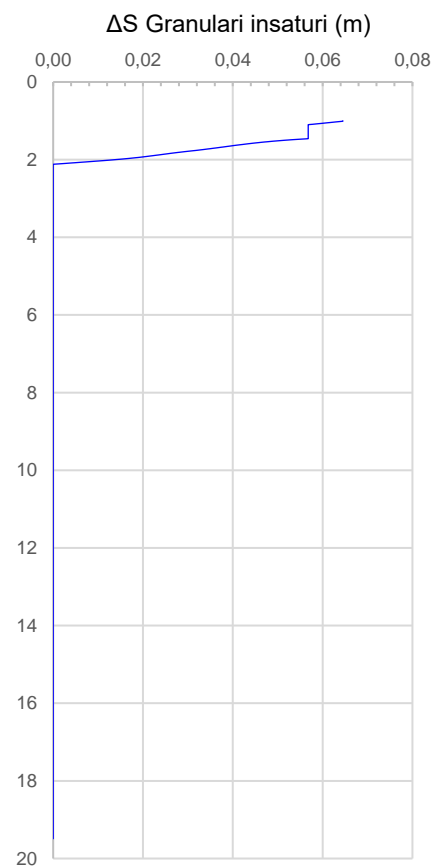
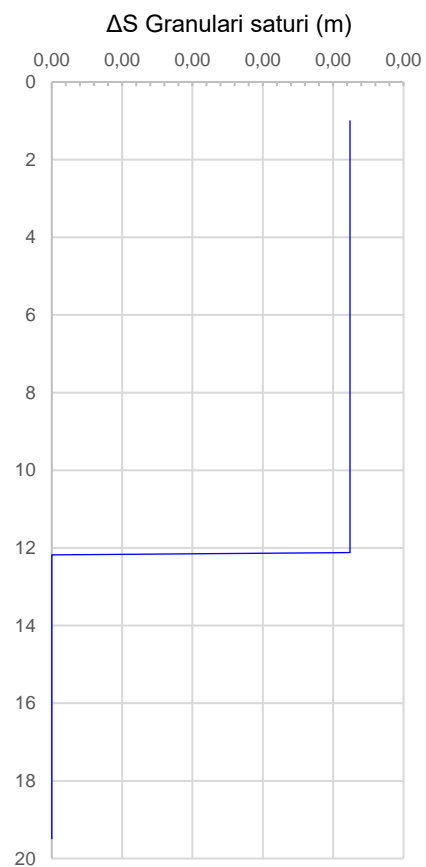
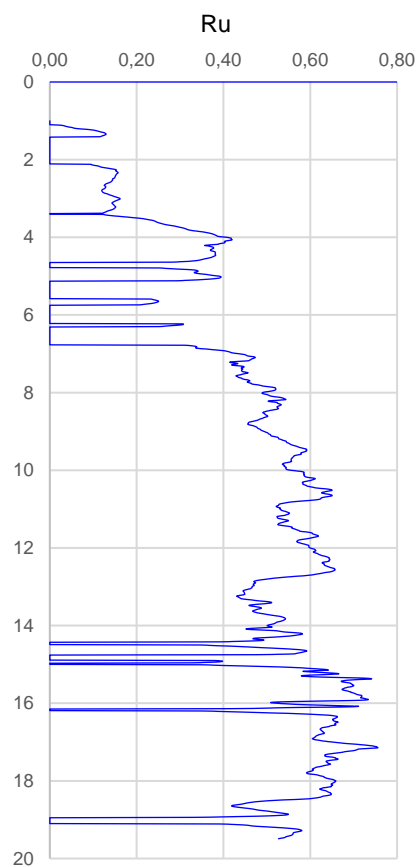
N° FG. (SH. N.)


57

DI (LAST)

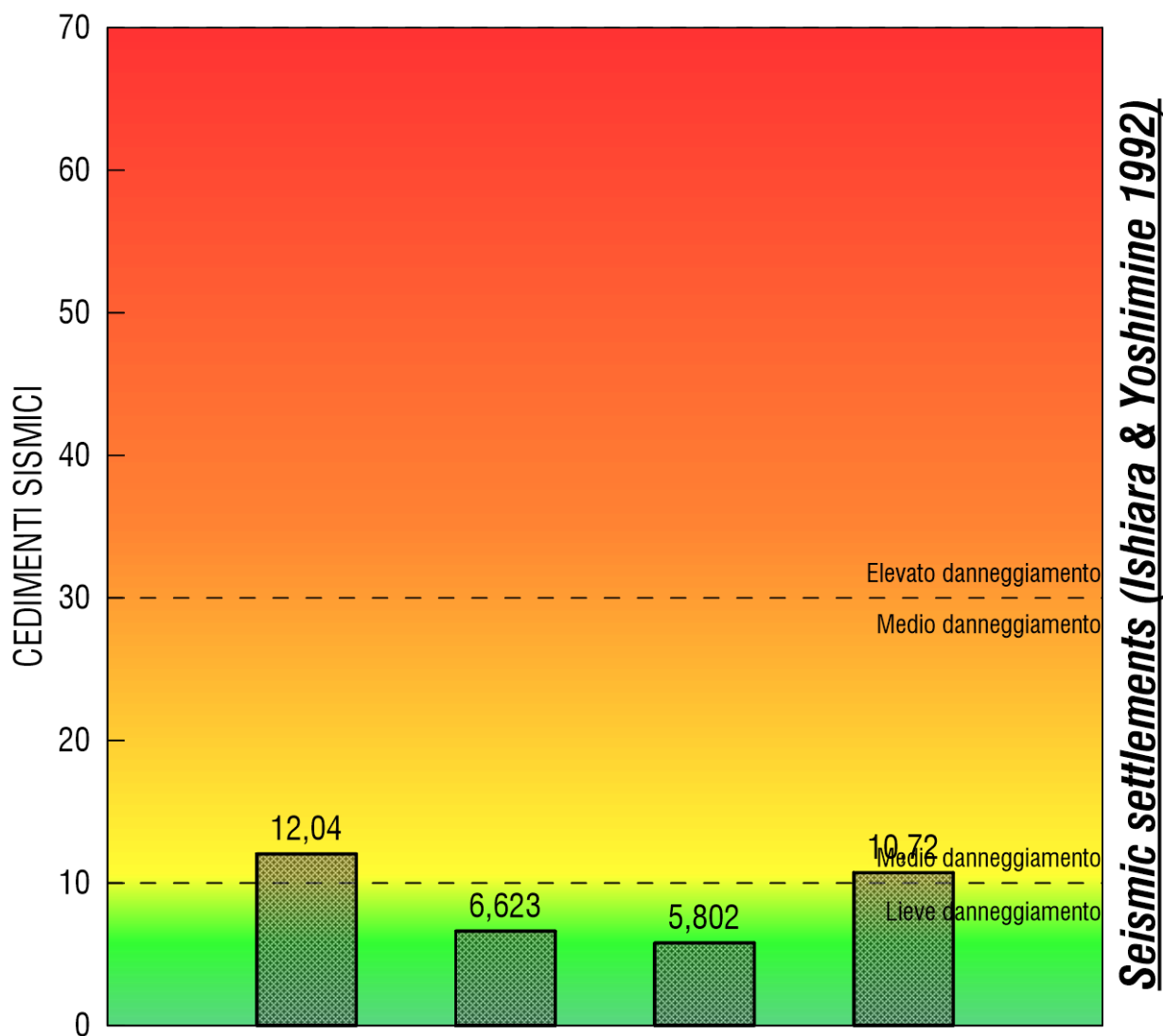
60


REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS

CPTU8**Cedimenti S (cm)****Granulari saturi****0,212****Granulari insaturi****6,450****Coesivi soffici****4,062****Cedimento totale****10,724**

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	58	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

Facendo riferimento alle casistiche definite dagli autori Ishihara & Yoshimine (1992) e considerati i valori di cedimento post-sismico ottenuti, risulta possibile definire una lieve portata (media) di danneggiamento teorica in condizioni free-field.



					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	59	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

9 CONCLUSIONI

Il presente elaborato viene predisposto a supporto della progettazione degli interventi che definiscono il progetto denominato Power to Gas. L'area di intervento è collocata all'interno dell'intero complesso del depuratore di Bologna denominato I.D.A.R., in Via William Shakespeare.

Il progetto prevede l'installazione di un sistema Power to gas abbinato ad un sistema di upgrading biogas presso l'impianto di depurazione IDAR. In particolare, il sistema Power to gas prevede l'utilizzo di un elettrolizzatore per la produzione di idrogeno verde e di un metanatore biologico per la metanazione della CO₂ presente nel biogas prodotto dal depuratore. Il metanatore biologico utilizza i fanghi del depuratore come substrato su cui particolari microrganismi realizzano la conversione di H₂ e CO₂ in CH₄ e H₂O.

L'analisi preliminare dei piani e della normativa sovraordinata in materia geologica e relativamente a rischio sismico ha permesso di inquadrare e derivare le principali caratteristiche del sito di intervento.

Per la caratterizzazione del sottosuolo, nel mese di Giugno 2022, sono state realizzate diverse indagini dirette e indirette, che hanno permesso l'identificazione di numerosi indici e parametri impiegati per le successive modellazioni relativamente al volume significativo di sottosuolo di interesse. Il modello geologico contenuto nel presente elaborato viene restituito in forma sintetica e grafica attraverso l'identificazione di una sezione stratigrafica di dettaglio. I modelli forniti sono stati suddivisi per due differenti aree di intervento: le aree A e B sono ascrivibili a un modello unico, per l'area C posta in Comune di Castelmaggiore presso la quale verrà realizzata una nuova cabina elettrica.

In riferimento al comportamento geotecnico del sottosuolo, attraverso la sintesi e all'interpretazione delle varie indagini e prove geotecniche svolte, viene fornito all'interno dell'elaborato un modello geotecnico medio. Tale modellazione potrà essere adottata per l'esecuzione delle verifiche geotecniche necessarie in sede di progettazione.


La caratterizzazione sismica del sito ha permesso di ricondurre il sottosuolo alla categoria C come indicato nella normativa tecnica nazionale NTC2018. Considerata la rilevanza strategica dell'opera in progetto è stata eseguita una specifica analisi RSL, attraverso la quale viene fornito lo studio dell'amplificazione sismica stratigrafica specifica di sito. Gli esiti della seguente analisi sono raccolti al cap. 7, in forma grafica e in forma tabellare.

L'analisi della pericolosità sismica specifica ha previsto l'esecuzione di analisi relative alla suscettività del sito al fenomeno della liquefazione dei terreni granulari, congiuntamente alla quantificazione dei cedimenti cosismici. Le verifiche hanno evidenziato una bassa esposizione al fenomeno di liquefazione (Somnez 2003) e una lieve portata di danneggiamento (Ishihara & Yoshimine 1992).

Per quanto riguarda la componente idrogeologica, l'assetto locale risulta essere il seguente:

- ☐ GRUPPO A0 – Acquifero freatico; l'acquifero risulta contenuto in depositi alluvionali (Ghiaie e Sabbie) posti tra la profondità di -5.00 m e -15.00/20.00 m rispetto al piano campagna. Alla base di questo sistema sono presenti terreni argillosi aventi uno spessore di un paio di metri;
- ☐ GRUPPO A1 – Acquifero artesian; l'acquifero risulta contenuto in depositi alluvionali (Ghiaie e Sabbie) posti tra la profondità di -20.00 m e -100.00 m rispetto al piano campagna. Tale acquifero rappresenta il primo acquifero confinato/semiconfinato;

Per l'identificazione dei carichi idraulici nel sottosuolo sono state considerate le letture piezometriche eseguite all'interno dei fori di prova CPTU eseguiti in sede di caratterizzazione

					
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	N12001013951	CX00RL0001	0	60	60
REALIZZAZIONE IMPIANTO POWER TO METHANE E UPGRADING BIOGAS					

geotecnica. In riferimento alle aree A e B si evidenzia un dato di soggiacenza variabile in corrispondenza di ciascun profilo penetrometrico: la soggiacenza varia da un valore massimo di -2 metri da piano campagna e un valore minimo di -3.50 metri da piano campagna. In corrispondenza dell'area C la soggiacenza risulta posta a -3.50 metri da piano campagna. Il suolo superficiale risulta costituito da litologie argillose a bassa permeabilità e, pertanto, la vulnerabilità degli acquiferi presenti risulta estremamente limitata.

In conclusione, sulla scorta degli aspetti e delle analisi trattate all'interno del presente elaborato, con riferimento agli interventi in progetto non si rileva alcuna particolare condizione che precluda la loro fattibilità.

Modena 07/10/2022