Unione Reno Galliera

Provincia di Bologna

Comune di
PIEVE DI CENTO

RUE

ELABORATO IN FORMA ASSOCIATA

VARIANTE AL RUE 4/2014

IN ADEGUAMENTO ALLA VARIANTE AL PSC n. 1/2014

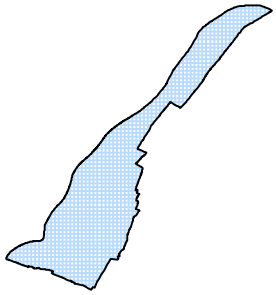
Allegati alla Variante al RUE 4/2014

ELAB. 2

Sindaco
Sergio Maccagnani

Segretario comunale
Dott. Mario Criso

Responsabile Servizio Urbanistica
Ing. Antonio Peritore



adozione delib. C.C n. 35 del 08.04.2014
approvazione delib. C.C n. 03 del 21.01.2015

COMUNE DI PIEVE DI CENTO

PROVINCIA DI BOLOGNA

AMBITO RESIDENZIALE AUC-C

SITO LUNGO VIA PRADOLE

D.P.C.A.

DOCUMENTAZIONE PREVISIONALE DI CLIMA ACUSTICO

(EX. L. 447/95, ART.8)

redazione dello studio a cura di:

Ing. Franca Conti





Studio di Ingegneria Ambientale Ing. Franca Conti
Via Massimo Gorki 11 – 40128 - Bologna
Tel./ Fax 051 / 32.71.51 Cell. 338/82.65.890

Lavoro n° FC442/13-BO - Emissione di marzo 2014

SOMMARIO

PREMESSA 5
Descrizione della proposta progettuale 8
INQUADRAMENTO NORMATIVO 9
La classificazione acustica del sito 9
I valori limite 10
ANALISI ACUSTICA DEL SITO 14
I rilievi fonometrici 14
L'applicazione del modello di calcolo 16
Lettura commentata dei risultati di calcolo 27
CONCLUSIONI 32
ALLEGATO: QUADERNO DEI RILIEVI FONOMETRICI 36
APPENDICE: APPROFONDIMENTI D'ANALISI RICHIESTI DA PARTE DI ARPA; IN SEDE DI CONFERENZA DI PIANIFICAZIONE 52

La presente relazione è stata redatta dal tecnico in acustica ambientale:

Ing. Conti Franca, riconosciuta dalla Regione Emilia Romagna come Tecnico Competente per l'Acustica Ambientale (D.P.C.M. 31/3/98), ed iscritta all'elenco pubblicato mediante delibera di Giunta 589/98 (BUR n.148 del 2/12/98; "Determinazione del Direttore Generale Ambiente n.11394/98").



PREMESSA

Con l'approvazione della Legge Quadro sul Rumore n.447, la cui entrata in vigore è avvenuta il 26/12/95, sono state ribadite (DPCM 1/3/91 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno") e sono state definite ex novo alcune competenze in materia di inquinamento acustico che sono poste a carico degli Enti Pubblici e dei Soggetti Privati.

Tra queste si sono definite alcune disposizioni in materia di impatto e clima acustico (art. 8):

> *"…3. E' fatto obbligo di produrre una valutazione previsionale del clima acustico delle aree interessate alla realizzazione delle seguenti tipologie di insediamenti:*
>
> *…*
>
> *e) nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere di cui al comma 21.*
>
> *…"*

In data odierna, ed in riferimento in particolare agli "Studi di Impatto e Clima Acustico", sono stati emanati, fra gli altri, i seguenti testi di legge:

- DPCM 14/11/97, "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore";
- DPCM 5/12/97, "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici";
- DPCM 16/03/98, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico";
- DPR 459/98, "Regolamento in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario;
- DPR 142/04, "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare";

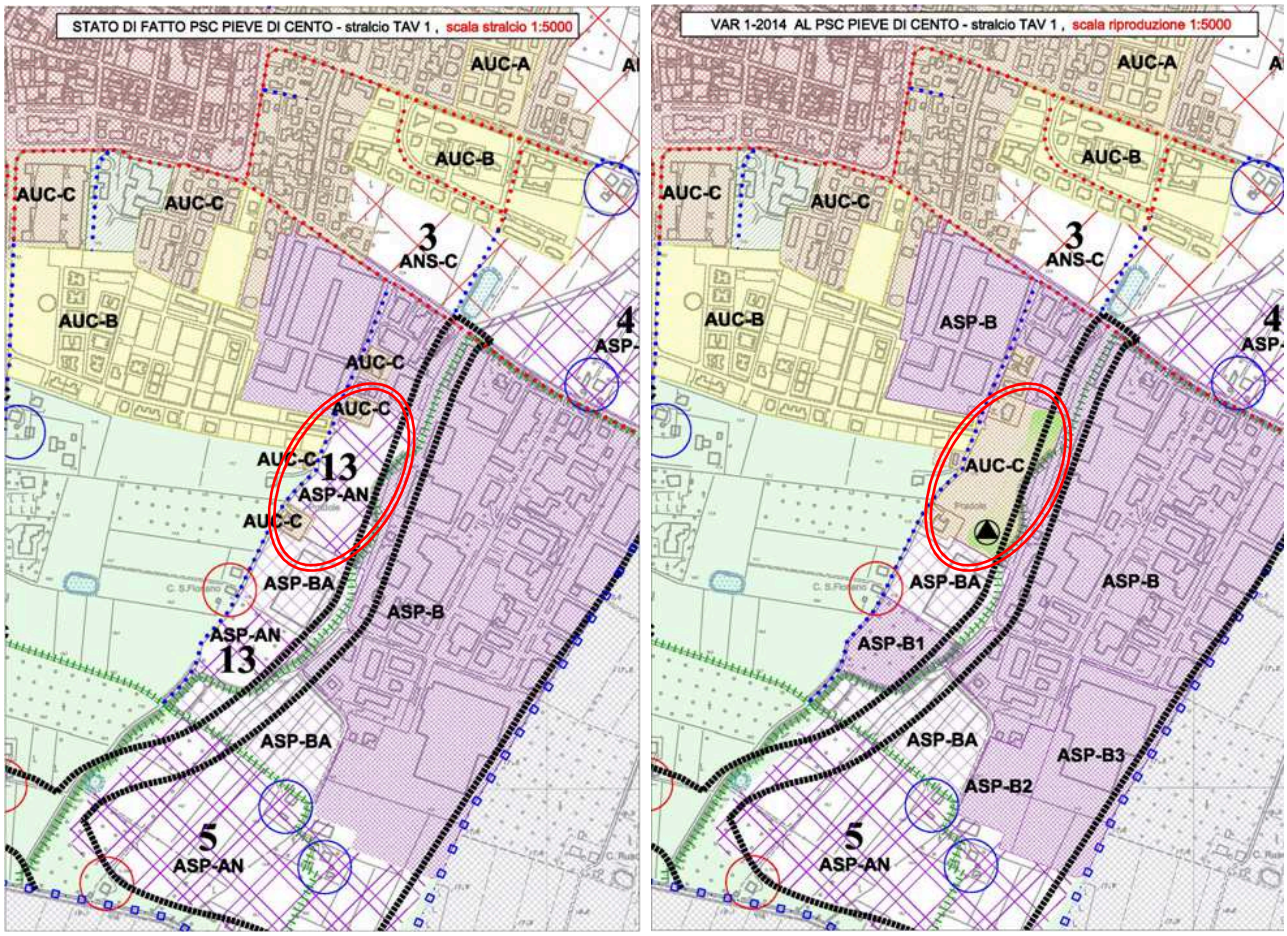
integrati poi a livello regionale da:

- LR 15/2001, "Disposizioni in materia di inquinamento acustico";
- DGR 673/04, recante i criteri tecnici per la redazione degli studi di clima ed impatto acustico.

L'oggetto del presente studio è rappresentato dalla **proposta progettuale di edificazione ad uso residenziale, dell'ambito AUC-C di via Pradole, ambito che è oggetto di variante al PSC/RUE per il cambio d'uso da Ambito produttivo di nuovo insediamento ASP-AN 13** (area pianificata in sede di PRG ma non attuata), **ad ambito appartenente al tessuto urbano consolidato**, con cessione di una porzione di area, per la realizzazione di una vasca di laminazione di sistema sullo scolo Canalazzo.

L'area di intervento trova affaccio diretto su via Pradole e l'assegnazione dell'ambito al tessuto consolidato, con destinazione residenziale, permette di realizzare una sorta di completamento dell'edificato, in soluzione di continuità con gli adiacenti usi residenziali degli AUC-C e AUC-B, essi pure affacciati su via Pradole.

Al contempo, la cessione di parte dell'area ad uso bacino di laminazione permette di realizzare una zona filtro rispetto alle attività produttive poste in affaccio su via del Fosso (area ASP-B).



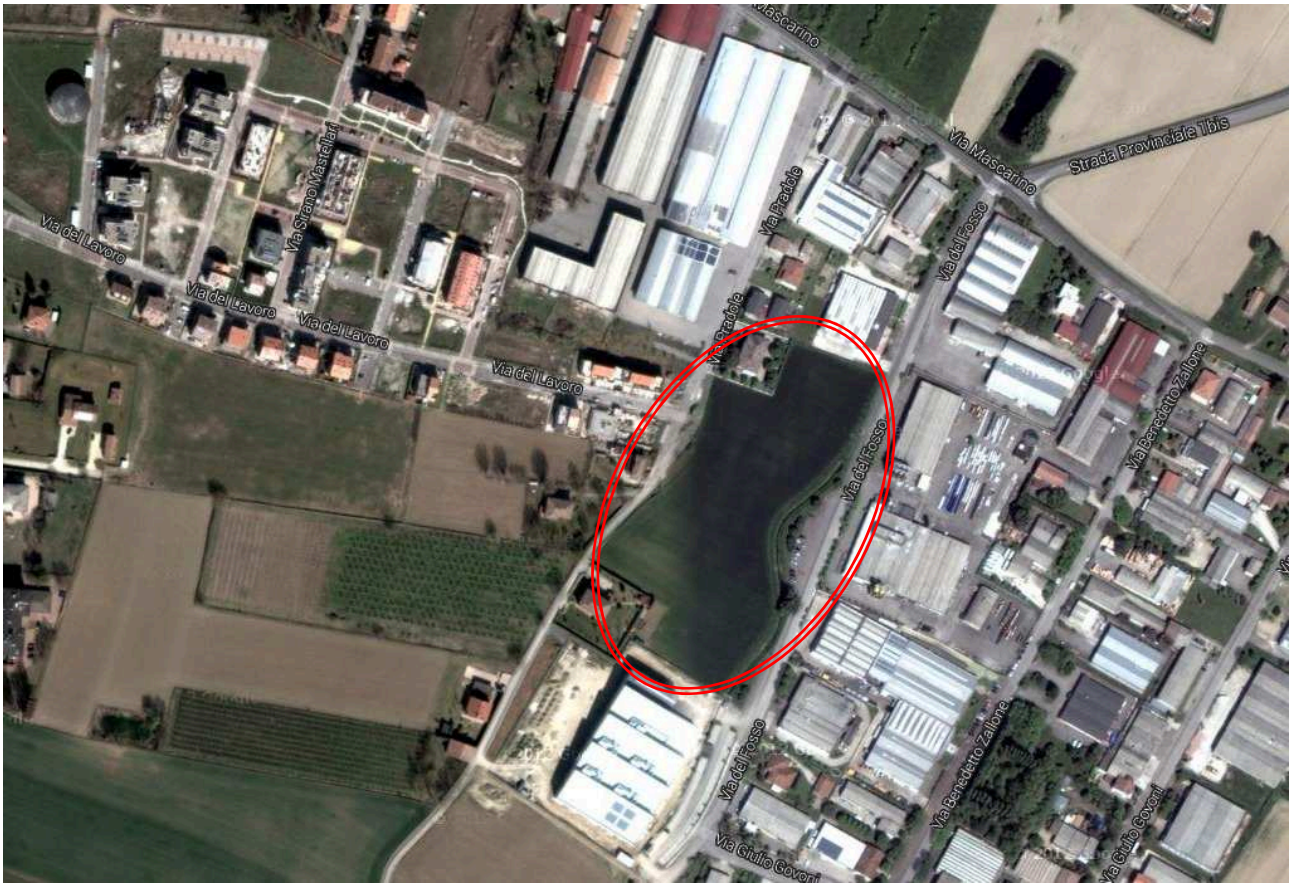
Stralcio del vigente PSC relativo all'area di intervento: a sinistra si riporta la cartografia pre Variante; a destra, la cartografia modificata come da Variante

L'analisi del contesto ci permette di individuare le potenziali sorgenti sonore in sito, rappresentate, in ordine di priorità, da:

- Attività produttive poste lungo via del Fosso, alcune delle quali operanti a ciclo continuo sulle 24 ore;
- via del Fosso;
- via Pradole.

Annoveriamo invece fra le sorgenti secondarie e di minor significatività, ai fini della formazione del clima acustico di zona, tanto da contribuire alla sola formazione del rumore di fondo:

- SP 18 via del Lavoro;
- Attività antropiche del vicinato.



Inquadramento generale dell'area di intervento

Attraverso lo studio che segue si procederà quindi nella verifica del clima acustico di zona, per poi valutare la compatibilità dell'area ad ospitare nuovi edifici residenziali.

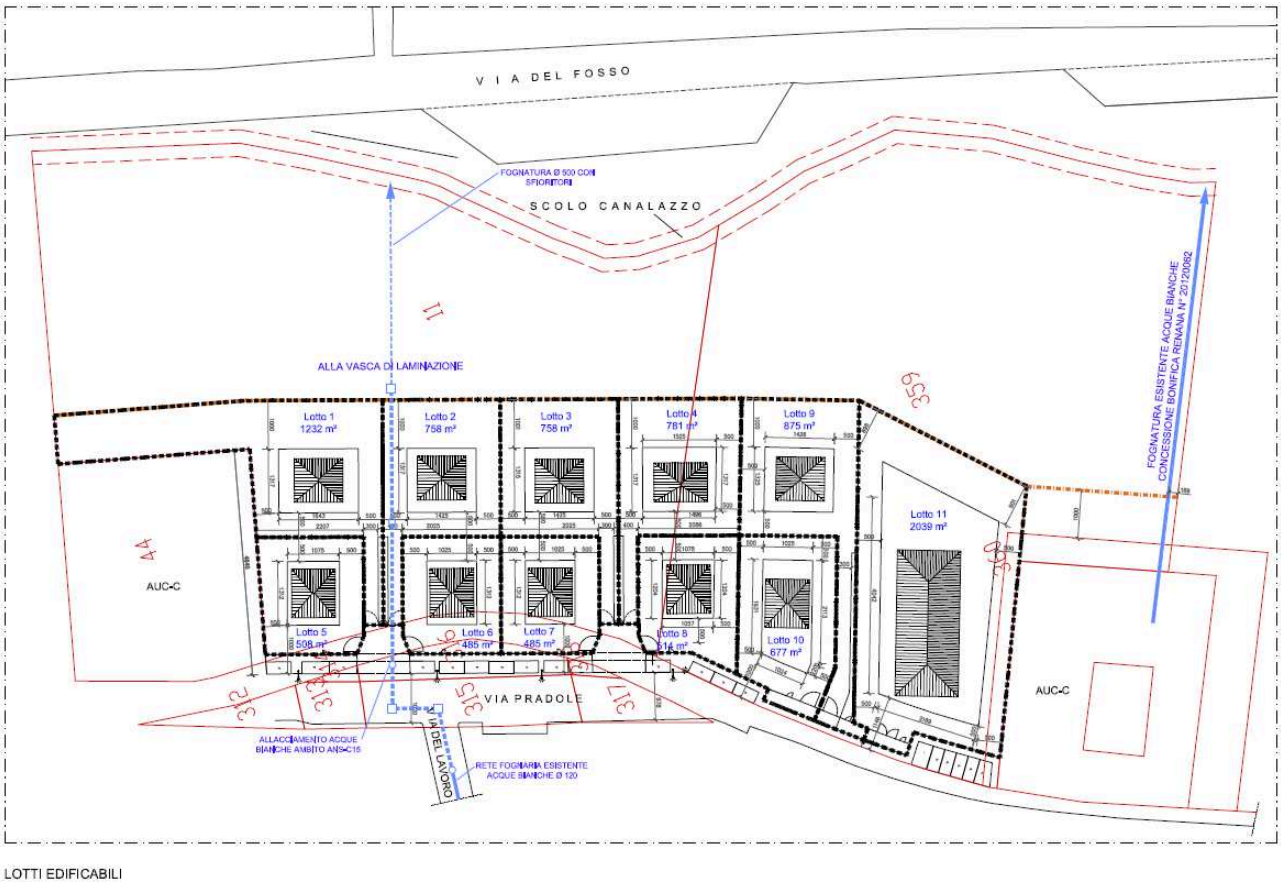
In particolare si procederà, di seguito, nella realizzazione delle seguenti verifiche:

- definizione della ***classe acustica*** di appartenenza delle diverse aree nello scenario attuale e di progetto e verifica di compatibilità delle funzioni introdotte, rispetto alle destinazioni d'uso preesistenti all'intorno;
- caratterizzazione del ***clima acustico*** di zona attraverso l'analisi strumentale delle emissioni delle principali sorgenti sonore presenti in sito;
- verifica di ***compatibilità acustica*** della proposta di progetto avanzata;
- definizione di eventuali ***prescrizioni*** necessarie ***per la riduzione degli impatti*** presso le destinazioni residenziali di progetto, qualora se ne ritenga verificata la fattibilità.

Più in esplicito, tali verifiche saranno quindi mirate a valutare la reale edificabilità dell'area, in funzione della proposta di progetto avanzata (ed in particolare del cambio d'uso proposto in Variante, essendo la destinazione residenziale acusticamente più sensibile, rispetto al precedente uso produttivo), così da poter indirizzare le future proposte edificatorie per i singoli lotti.

Descrizione della proposta progettuale

Come già indicato in precedenza, l'oggetto del presente studio riguarda l'ambito oggetto di Variante a PSC/RUE per il cambio d'uso dell'ex Ambito produttivo di nuovo insediamento ASP-AN 13, verso la destinazione residenziale, trattando l'area come consolidato, AUC-C.



Schema grafico della proposta progettuale allegata all'accordo urbanistico stilato fra privati e comune

La proposta di progetto che sfocerà, una volta approvata la variante urbanistica ad entrambi gli strumenti PSC e RUE, nella compilazione del Progetto Unitario Convenzionato, prevede oggi la realizzazione di nuove residenze da distribuirsi all'interno dell'area sopra evidenziata, frazionando la stessa in 11 diversi lotti (al momento è indicata la sola superficie utile per ogni singolo lotto, ma non è disponibile nessun progetto edilizio di dettaglio, la cui predisposizione avverrà unicamente in sede di richiesta dei singoli permessi di costruire).

Contestualmente, è prevista la cessione della porzione d'area compresa fra il futuro edificato ad uso residenziale e lo scolo che corre in fregio a via del Fosso, per la realizzazione di una vasca di laminazione che verrà posta a servizio sia del presente ambito di intervento sia delle aree limitrofe.

La progettazione della vasca non è parte del presente progetto, che si limita al solo intervento ad uso residenziale.

INQUADRAMENTO NORMATIVO

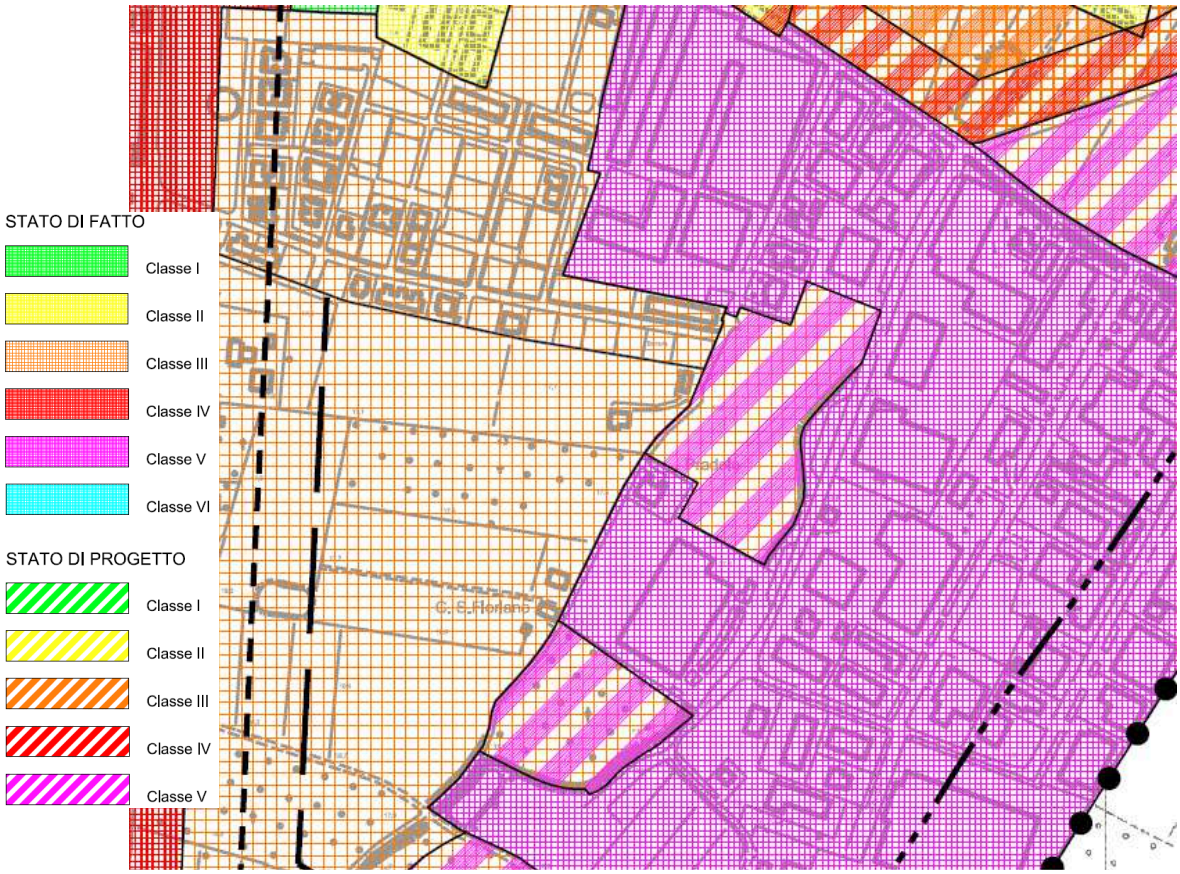
La classificazione acustica del sito

I limiti di rumorosità relativi all'area in esame vengono fissati dalla Zonizzazione Acustica comunale.

La Classificazione acustica del Comune di Pieve di Cento, dopo l'approvazione del Piano Strutturale Comunale è stata: adottata con delibera **C.C n.46** d**el 30.05.2011** e successivamente approvata con delibera **C.C n. 76** d**el 29.12.2011.**

Essa individua l'area qui oggetto di analisi come appartenente alla classe III classe, per l'esistente, individuando una proposta di riclassificazione per il progetto, in V classe, in virtù della destinazione produttiva individuata da PSC.

Se ne riporta di seguito uno stralcio, relativo all'area qui oggetto di analisi.



Stralcio cartografico della vigente Zonizzazione Acustica comunale

A fronte tuttavia della presente proposta di Variante appare evidente che dovrà essere proposta anche una contestuale revisione nella proposta di riclassificazione per il progetto, che vedrebbe, in accordo con gli uffici di Piano che hanno seguito la pianificazione urbanistica di Pieve di Cento in seno all'Associazione Reno Galliera, le seguenti assegnazioni:

- all'area di intervento presso la quale si realizzeranno le nuove residenze, la III classe;

- alla porzione d'area destinata a bacino di laminazione, la IV, costituendo così una sorta di zona filtro ad uso "attrezzature tecnologiche", tra le residenze, attuali e di progetto, e il produttivo frontistante.
- alle residenze esistenti adiacenti alla futura area di espansione (lotti AUC-C), ragionando per omogeneità d'uso del territorio, l'assegnazione alla III classe, invece della V classe attuale, non trattandosi più, nello scenario futuro, di residenze intercluse ad un tessuto prevalentemente produttivo, quanto piuttosto del completamento di una UTO residenziale globalmente assegnata alla III classe.



Proposta di riclassificazione conseguente la richiesta di Variante al PSC

I valori limite

Il **D.P.C.M. 14/11/97** definisce, per ciascuna classe acustica in cui è suddiviso il territorio, dei valori limite, distinti per i periodi diurno (ore 6:00-22:00) e notturno (ore 22:00-6:00).

Esso aggiorna il precedente panorama normativo in materia di limiti acustici, modificando alcuni dei contenuti del D.PC.M 1/3/91.

Pur mantenendo invariate le classi di destinazione d'uso del territorio e la definizione degli intervalli temporali di riferimento, si introducono, infatti, dei nuovi valori limite: di emissione,di immissione (assoluti e differenziali), di qualità e di attenzione.

Le definizioni di tali valori sono riportate all'art. 2 della Legge 447/95:

- **valori limite di emissione**: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa. Essi sono pari ai valori di immissione diminuiti di 5dB;

- **valori limite di immissione**: il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori, dove i valori limite di immissione sono distinti in:
  a) valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
  b) valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo;
- **valori di attenzione**: il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;
- **valori di qualità**: i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento.

***Tab. 1** - Valori dei limiti di attenzione e qualità relativi alle classi di destinazione d'uso del territorio secondo il D.P.C.M. 14/11/97.*

	Valori di immissione		Valori di qualità		Valori di attenzione relativi al periodo	
Classe[2]	Diurno	Notturno	Diurno	Notturno	Diurno	Notturno
I	50	40	47	37	50	40
II	55	45	52	42	55	45
III	**60**	**50**	**57**	**47**	**60**	**50**
IV	65	55	62	52	65	55
V	70	60	67	57	70	60
VI	70	70	70	70	70	70

Lo stesso DPCM 14/11/97 specifica tuttavia che (art.3):

"…

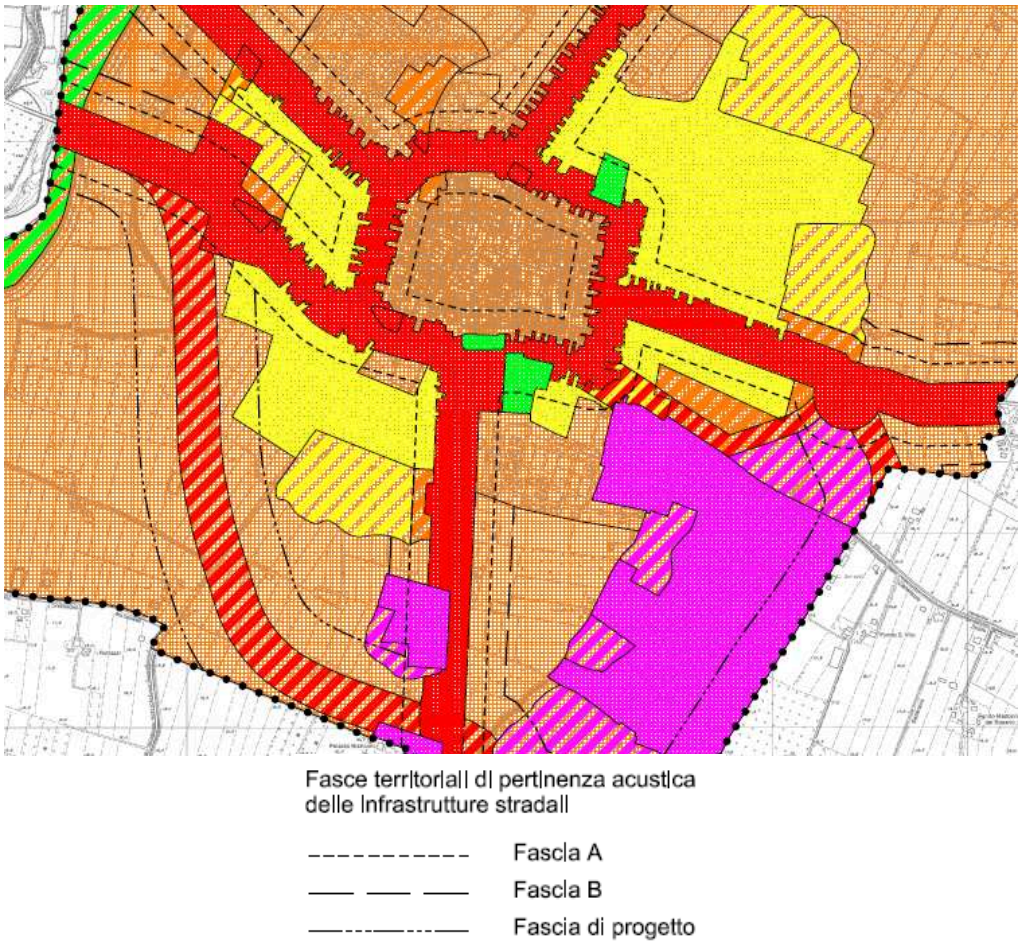
2. Per le infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e le altre sorgenti sonore di cui all'art. 11, comma 1, legge 26 ottobre 1995, n. 447, i limiti di cui alla tabella C allegata al presente decreto, non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, individuate dai relativi decreti attuativi. All'esterno di tali fasce, dette sorgenti concorrono al raggiungimento dei limiti assoluti di immissione.

3. All'interno delle fasce di pertinenza, le singole sorgenti sonore diverse da quelle indicate al precedente comma 2, devono rispettare i limiti di cui alla tabella B allegata al presente decreto. Le sorgenti sonore diverse da quelle di cui al precedente comma 2, devono rispettare, nel loro insieme, i limiti di cui alla tabella C allegata al presente decreto, secondo la classificazione che a quella fascia viene assegnata."

Ed in riferimento a ciò occorrerebbe quindi richiamare quanto dettato dal **DPR 142/2004** in riferimento alle emissioni da traffico stradale.

Leggendo tuttavia una tavola più ampia della Zonizzazione Acustica Comunale, diamo evidenza al fatto che l'area qui di interesse è esterna alle fasce pertinenziali individuate ai sensi del suddetto DPR; così da

confermare, quale unico riferimento per la verifica di esposizione a rumore per i futuri bersagli, i valori limite definiti dal DPCM 14/11/97.



Individuazione delle fasce di pertinenza infrastrutturali (DPR 142/2004) in sovrapposizione ai tematismi della vigente Zonizzazione Acustica comunale

Infine, oltre ai sopra descritti valori limite assoluti, nel caso di emissioni da sorgenti produttive, commerciali e professionali, dovrà inoltre essere verificato il rispetto dei **valori limite differenziali**.

I valori limite differenziali di immissione, definiti all'art. 2, comma 3, lettera b), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, sono: 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno, all'interno degli ambienti abitativi.

Questi ultimi valori limite non si applicano soltanto qualora il rumore immesso da una sorgente all'interno di un locale ad uso abitativo possa essere ritenuto trascurabile, e cioè:

a) se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;

b) se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

In estrema sintesi, le valutazioni da effettuare saranno dunque le seguenti:

- Verifica dei valori limite assoluti di classe III per indotto di tutte le sorgenti di zona, presso i futuri affacci residenziali e presso tutte le aree esterne di pertinenza delle abitazioni;
- Verifica dei valori limite differenziali, per indotto delle sole emissioni da sorgenti fisse di natura produttiva, presso gli ambienti abitativi di progetto.

A fronte della proposta di riclassificazione anche per i due lotti residenziali esistenti in confine alla nuova area residenziale, le stesse verifiche verranno affrontate anche presso detti bersagli.

ANALISI ACUSTICA DEL SITO

I rilievi fonometrici

Per attualizzare la caratterizzazione acustica dell'area si è proceduto, in primo luogo, nella realizzazione di una campagna di rilievo dei livelli sonori attualmente presenti in sito.

Le analisi acustiche sono state eseguite, in parte, adottando la tecnica del campionamento (UNI 9884/97), servendosi del fonometro integratore ed analizzatore real-time di classe 1 con filtri ad 1/3 di ottava, Norsonic NOR 140; a completamento delle analisi effettuate a campione si è poi proceduto anche nell'acquisizione di due monitoraggi 24 ore presso le aree cortilive delle due strutture residenziali poste sui limiti nord e sud dell'area di intervento.

Per quanto concerne le modalità di rilevamento del livello di rumore ci si è attenuti alle indicazioni contenute in normativa (L.447 del 26/10/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" e successivi decreti attuativi, tra cui in particolare il DM 16/3/98 "Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico").



Localizzazione postazioni di misura

Le acquisizioni a campione hanno caratterizzato il fronte di via del Fosso, per l'intera porzione dell'asta viaria che affaccerà sul futuro comparto (punti da "G" a "O") e, analogamente, il fronte di via Pradole (punti da "B" a "E").

Si sono poi verificati i punti "A" ed "F" sia mediante campionamento breve, sia mediante monitoraggio in continuo, così da determinare, in particolare, l'indotto notturno derivante dalle vicine attività produttive: come si vedrà nel seguito attraverso l'analisi di dettaglio dei valori registrati, la rumorosità notturna sul punto "F" è superiore a quella registrata sul pungo "A", ad indicazione di una maggiore significatività emissiva delle aziende poste più a nord, con particolare riferimento alla ditta Politec, operante nella "Produzione *di* compounds a base *di* polipropilene".

Si segnala poi che le rilevazioni sono state effettuate in due sessioni di lavoro, la prima databile ad aprile 2012 ed una successiva dello scorso ottobre 2013, realizzata ad aggiornamento della precedente e a riverifica, in particolare, delle emissioni di natura produttiva.

Le valutazioni seguenti verranno effettuate sulla base delle ultime rilevazioni acquisite.

Solo per i punti localizzati lungo via del Fosso si sono mantenuti i dati dello scorso anno, non avendo rilevato modifiche sostanziali alle emissioni presso sorgente, dove l'indotto da traffico appare comunque dominante rispetto alle emissioni di natura produttiva, che al contrario appaiono invece dominanti sul fronte di via Pradole, ove il traffico circolante è pressoché nullo, in particolare nel tratto a sud di via del Lavoro.

Vediamo quindi nel seguito una breve sintesi tabellare dei dati acquisiti sul campo, rimandando invece all'allegato per la lettura di dettaglio delle schede di rilievo.

Postazione	**Leq in dBA**	**L10 in dBA**	**L90 in dBA**
Monitoraggio A – Giorno	48,3	49,6	45,5
Monitoraggio A - Notte	43	44	40,7
Monitoraggio F – Giorno	51,8	53,5	48,1
Monitoraggio F - Notte	46,5	48	44,4
A	50,3	51,2	49,5
B	41,7	43,2	38,7
C	46,8	47,6	45,8
D	51,6	54,4	47,7
E	52,6	55,2	46,5
F	51,2	52,8	49,1
G	58,1	58,8	54,4
H	58,9	58,5	54,4
I	54,9	55,5	52,8
L	57,2	58,4	55,9
M	57,5	59,1	55,3
N	59,9	61,1	56,2

L'applicazione del modello di calcolo

Lo studio acustico d'area prosegue attraverso la simulazione di quanto sopra descritto utilizzando un modello software dedicato: IMMi 6.3.

Si tratta di un software per la simulazione delle modalità di produzione e propagazione del rumore in ambiente esterno elaborato dalla ditta tedesca WÖLFEL, specializzata nella produzione di software in campo ambientale e di sistemi di misura.

IMMI permette la modellizzazione del fenomeno, mediante tecnica di Ray-Tracing inverso, in accordo con le principali linee guida esistenti a livello internazionale: in particolare, fra di esse, la ISO 9613.

Il sopra citato modello di simulazione necessita per il suo corretto funzionamento, della schematizzazione geometrica di tutti gli elementi compresi nell'area di studio, il contributo dei quali possa risultare significativo ai fini della caratterizzazione del clima acustico risultante.

In particolare ci si riferisce alla morfologia del terreno, alle caratteristiche fisico/geometriche degli edifici, alle emissioni delle sorgenti sonore, nonché al tipo di ostacoli che possono frapporsi lungo il percorso delle onde di propagazione del suono.

Il terreno è stato modellato mediante un processo di triangolazione solida, ricostruendo il "piano quotato" relativo all'intera area di interesse.

Sul piano di appoggio così realizzato sono stati inseriti i volumi relativi agli elementi fisici ritenuti più significativi:

- i corpi di fabbrica degli edifici, evidenziati con il colore blu nell'immagine che segue;
- le macchie arboree più consistenti, rappresentate con il verde;
- le sorgenti sonore, in colore rosso, sia di tipo lineare (le strade) sia areale (aree produttive) sia puntuali (impianti fissi).



Rappresentazione tridimensionale dell'area di interesse – stato di fatto

In particolare le sorgenti sonore sono state schematizzate mediante delle linee di emissione definite per mezzo di poligonali 3D localizzate in asse alle carreggiate per le strade, o da aree emissive poste a terra, per le zone produttive, o ancora da punti emissivi quotati, quando trattavasi di impianti fissi a servizio delle aziende medesime.

Appare evidente che per la completa caratterizzazione delle sorgenti produttive si sarebbe dovuto accedere alle relative proprietà, così da campionare le singole fonti emissive nel dettaglio; ciò non è stato fatto non avendo avuto accesso alle relative proprietà private, ma ai fini della presente relazione si è ritenuto di poter avviare il processo di taratura del modello di calcolo focalizzandosi sui punti rappresentativi dei futuri recettori, trattando quindi l'emissione da attività produttive come derivante dall'involucro esterno di inviluppo delle attività medesime, evidenziando solo quegli impianti fissi di cui si è potuto percepire l'indotto, quando sovrastante le altre emissioni d'area.

I valori di emissione delle sorgenti sono stati ottenuti assegnando le potenze di emissione desunte dall'analisi dei rilievi fonometrici descritti al paragrafo precedente e meglio dettagliati in allegato.

Line source/ISO 9613

Element	Label	Element group	ZA	high source	Length/ m	D0 /dB	spectrum	Emiss.-Variant	Lw' /dB(A)	Lw /dB(A)
LIQi001	Provinciale Bologna	strade	0	No	938,96	3,9	A-level	Giorno	72,5	102,2
								Notte	69,2	98,9
LIQi002	via Mascarino	strade	0	No	789,52	3,0	A-level	Giorno	68,0	97,0
								Notte	62,0	91,0
LIQi004	Pradole - Lavoro	strade	0	No	794,33	5,8	A-level	Giorno	58,3	87,3
								Notte	53,5	82,5
LIQi005	via del Fosso	strade	0	No	643,38	2,7	A-level	Giorno	62,1	90,2
								Notte	59,1	87,2
LIQi008	Pradole sud	strade	0	No	139,00	0,0	A-level	Giorno	51,5	72,9
								Notte	41,5	62,9
LIQi006	Pradole sud	strade	0	No	346,21	0,0	A-level	Giorno	50,0	75,4
								Notte	40,0	65,4
LIQi007	attività esterno azi	EDIFICI ATTUALI	0	No	122,07	0,0	A-level	Giorno	73,0	93,9
								Notte	55,0	75,9

Point srce/ISO 9613

Element	Label	Element group	ZA	high source	D0 /dB	spectrum	Emiss.-Variant		Lw /dB(A)
EZQi002	silo*	impianti	0	No	0,0	A-level	Giorno		95,0
							Notte		91,0
EZQi003	silo**	impianti	0	No	0,0	A-level	Giorno		95,0
							Notte		91,0
EZQi004	silo***	impianti	0	No	0,0	A-level	Giorno		95,0
							Notte		91,0

Area source/ISO 9613										
Element	Label	Element group	ZA	high source	(net) Surface/ m2	D0 /dB	spectrum	Emiss.- Variant	Lw" /dB(A)	Lw /dB(A)
FLQi001	HLIN /PARETE1	impianti	0	No	397,26	0,0	A-level	Giorno	63,0	89,0
								Notte	63,0	89,0
FLQi002	HLIN /PARETE2	impianti	0	No	96,84	0,0	A-level	Giorno	63,0	82,9
								Notte	63,0	82,9
FLQi003	HLIN /PARETE3	impianti	0	No	397,26	0,0	A-level	Giorno	63,0	89,0
								Notte	63,0	89,0
FLQi004	HLIN /PARETE4	impianti	0	No	96,84	0,0	A-level	Giorno	63,0	82,9
								Notte	63,0	82,9
FLQi005	area industriale	impianti	0	No	24673,96	0,0	A-level	Giorno	55,0	98,9
								Notte	47,0	90,9
FLQi010	cantiere industria	impianti	0	No	13368,04	0,0	A-level	Giorno	56,0	97,3
								Notte	38,0	79,3
FLQi009	area industriale*	impianti	0	No	28771,78	7,0	A-level	Giorno	58,0	102,6
								Notte	48,0	92,6
FLQi006	POLITEC	impianti	0	No	9723,32	1,7	A-level	Giorno	65,5	105,4
								Notte	60,5	100,4
FLQi007	fondo di zona	EDIFICI ATTUALI	0	No	2315820,30	0,0	A-level	Giorno	31,0	94,6
								Notte	18,0	81,6
FLQi011	fondo abitativo	EDIFICI ATTUALI	0	No	1225,61	0,0	A-level	Giorno	40,5	71,4
								Notte	37,0	67,9

Le simulazioni sono state realizzate ricostruendo 2 diversi scenari di riferimento:

1. Stato di fatto: questo primo scenario caratterizza le condizioni al contorno che sono state rilevate durante la campagna di rilievo precedentemente descritta (fase di taratura del modello): si sono assegnati gli stessi volumi di traffico rilevati in sito (il valore medio orario ricostruito sulla base dei conteggi effettuati contestualmente alle rilevazioni fonometriche) e si è di conseguenza tarato il modello in merito alle modalità di propagazione del suono, raggiungendo così un buon livello di approssimazione nei calcoli di simulazione.

Il delta fra i valori rilevati "Lv" e quelli calcolati "Lr, A" è risultato essere sempre inferiore ad 1 dBA, come si può osservare nella tabella di seguito riportata.

Short list					
Noise prediction					
taratura					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt001	post 24 ore	48.3	48.5	43.0	42.9
IPkt002	post. A	50.3	49.7		43.2
IPkt003	post. B	41.7	43.7		37.7
IPkt004	post. C	46.8	48.3		42.4
IPkt005	post. D	49.3	49.5		43.9
IPkt006	post. E	52.6	52.9		48.0
IPkt007	post. F	51.2	51.7		46.8
IPkt043	post. F - 24 ore	52.0	51.7	46.5	46.8
IPkt008	post. G	58.1	57.5		49.6
IPkt009	post. H	58.9	58.2		51.0
IPkt010	post. I	54.9	54.9		50.3
IPkt011	post. L	57.2	56.2		51.9
IPkt012	post. M	57.5	56.9		52.5
IPkt013	post. N	59.9	60.5		56.4
IPkt014	post. O	60.2	61.1		56.6

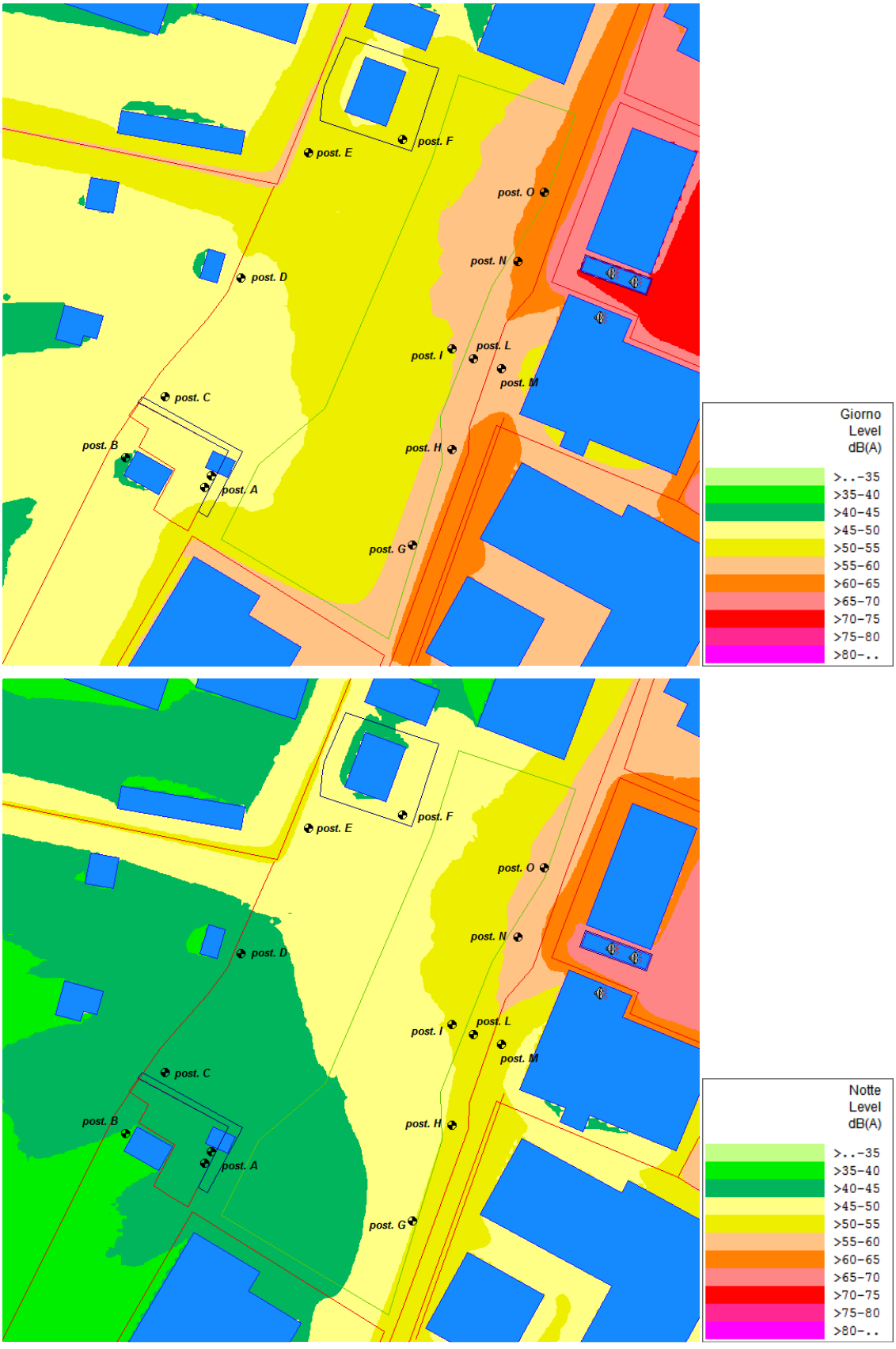
Risultati numerici relativi alla simulazione di stato di fatto – taratura del modello

2. Stato di progetto: sono stati inseriti all'interno del modello i volumi degli edifici (inseriti prendendo a riferimento come volumi le sole sagome di massimo ingombro dell'edificato, non essendoci ancora un progetto edilizio per i singoli lotti costituenti il sub-comparto), ai quali è stata assegnata l'altezza massima consentita in seno all'accordo urbanistico, 7,5m, caratteristica di corpi edificati normalmente costituiti da due livelli fuori terra.

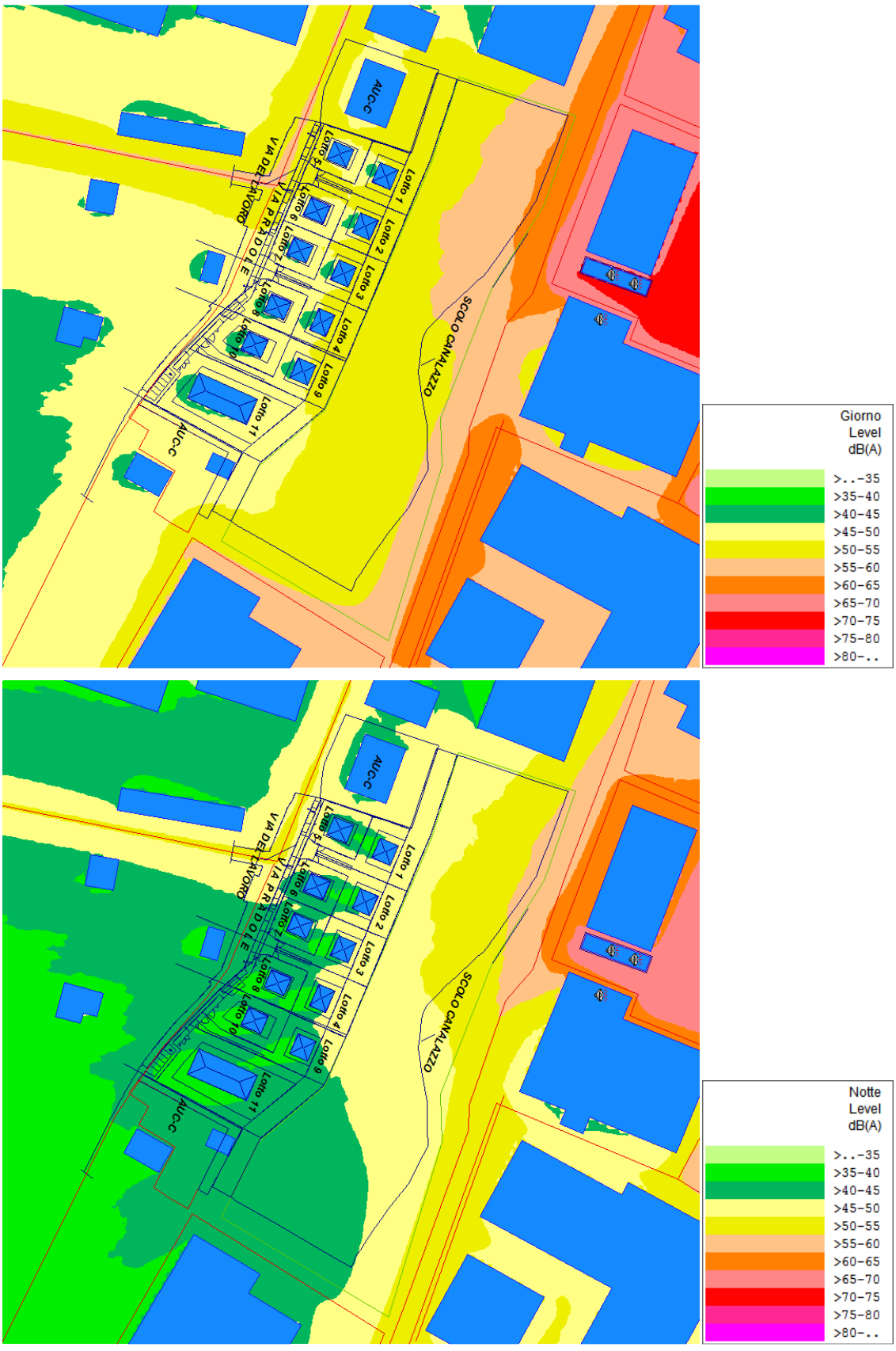
In particolare per questo secondo scenario, sugli ipotetici affacci degli edifici di progetto sono stati inseriti all'interno del software di calcolo dei punti recettore per calcolare il livello sonoro di previsione per effetto di tutte le sorgenti presenti, sia durante il periodo diurno che notturno, e quindi verificarne il rispetto dei limiti di legge.

La tabella di seguito riportata (la colonna LV riporta il limite di zona; la colonna Lr,A, il livello sonoro calcolato sul singolo affaccio; l'identificazione del punto avviene leggendo in sequenza il lotto di appartenenza; il numero del bersaglio; la quota da terra – PT, PS1; l'esposizione secondo i punti cardinali) mostra i risultati ottenuti.

Vediamo dunque i risultati delle verifiche effettuate, partendo dalle tavole di mappatura relative a scenario attuale e futuro, per poi passare alla lettura di dettaglio dei livelli di esposizione di facciata ai bersagli.



Mappatura acustica di scenario attuale, griglia di calcolo a 4m da terra



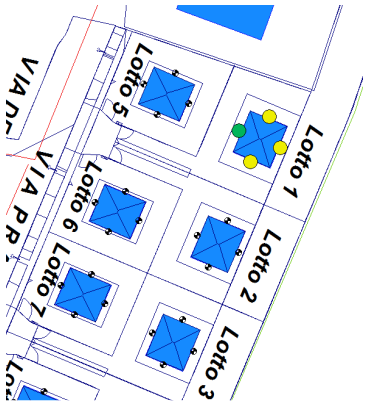
Mappatura acustica di scenario futuro, griglia di calcolo a 4m da terra



Calcolo puntuale ai bersagli: gli affacci fittizi si collocano sulla mezzeria delle facciate, ai piani terra e primo

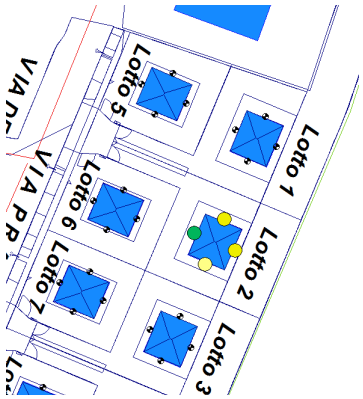
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto1:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt044	lotto 1 1 GF N/W	60.0	41.7	50.0	36.0
IPkt045	lotto 1 1 UF1N/W	60.0	42.6	50.0	37.3
IPkt046	lotto 1 2 GF S/W	60.0	49.8	50.0	45.5
IPkt047	lotto 1 2 UF1S/W	60.0	50.4	50.0	46.1
IPkt048	lotto 1 3 GF S/E	60.0	51.4	50.0	46.7
IPkt049	lotto 1 3 UF1S/E	60.0	52.1	50.0	47.4
IPkt050	lotto 1 4 GF N/E	60.0	50.0	50.0	45.2
IPkt051	lotto 1 4 UF1N/E	60.0	50.7	50.0	46.0



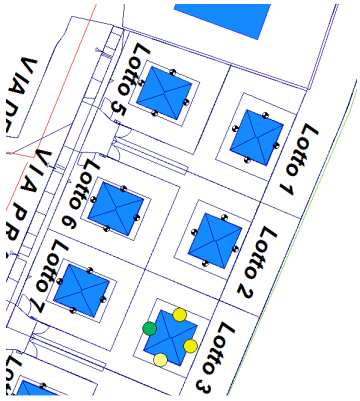
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto2:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt068	lotto 2 1 GF N/W	60.0	40.9	50.0	35.1
IPkt069	lotto 2 1 UF1N/W	60.0	41.9	50.0	36.5
IPkt070	lotto 2 2 GF S/W	60.0	47.4	50.0	42.5
IPkt071	lotto 2 2 UF1S/W	60.0	48.1	50.0	43.2
IPkt072	lotto 2 3 GF S/E	60.0	50.6	50.0	45.9
IPkt073	lotto 2 3 UF1S/E	60.0	51.3	50.0	46.5
IPkt074	lotto 2 4 GF N/E	60.0	50.9	50.0	46.3
IPkt075	lotto 2 4 UF1N/E	60.0	51.5	50.0	46.9



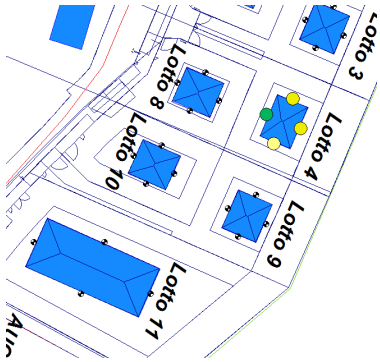
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto3:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt084	lotto 3 1 GF N/W	60.0	40.8	50.0	34.9
IPkt085	lotto 3 1 UF1N/W	60.0	41.6	50.0	36.0
IPkt086	lotto 3 2 GF S/W	60.0	45.2	50.0	39.1
IPkt087	lotto 3 2 UF1S/W	60.0	46.1	50.0	40.1
IPkt088	lotto 3 3 GF S/E	60.0	51.1	50.0	46.2
IPkt089	lotto 3 3 UF1S/E	60.0	51.7	50.0	46.8
IPkt090	lotto 3 4 GF N/E	60.0	50.2	50.0	45.7
IPkt091	lotto 3 4 UF1N/E	60.0	51.0	50.0	46.6



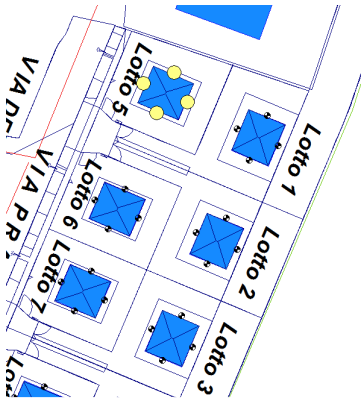
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 4:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt100	lotto 4 1 GF West	60.0	40.6	50.0	34.5
IPkt101	lotto 4 1 UF1West	60.0	41.4	50.0	35.7
IPkt102	lotto 4 2 GF S/W	60.0	44.4	50.0	37.3
IPkt103	lotto 4 2 UF1S/W	60.0	45.4	50.0	38.5
IPkt104	lotto 4 3 GF S/E	60.0	50.1	50.0	45.0
IPkt105	lotto 4 3 UF1S/E	60.0	50.8	50.0	45.6
IPkt106	lotto 4 4 GF N/E	60.0	49.7	50.0	45.1
IPkt107	lotto 4 4 UF1N/E	60.0	50.3	50.0	45.6



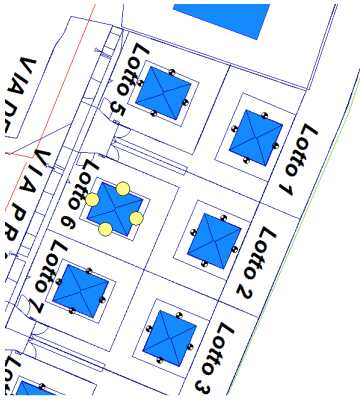
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 5:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt052	lotto 5 1 GF N/E	60.0	47.0	50.0	41.9
IPkt053	lotto 5 1 UF1N/E	60.0	48.9	50.0	44.0
IPkt054	lotto 5 2 GF S/E	60.0	44.7	50.0	38.0
IPkt055	lotto 5 2 UF1S/E	60.0	46.7	50.0	40.8
IPkt056	lotto 5 3 GF S/W	60.0	47.1	50.0	42.4
IPkt057	lotto 5 3 UF1S/W	60.0	48.9	50.0	44.2
IPkt058	lotto 5 4 GF N/W	60.0	46.8	50.0	41.8
IPkt059	lotto 5 4 UF1N/W	60.0	48.4	50.0	43.5



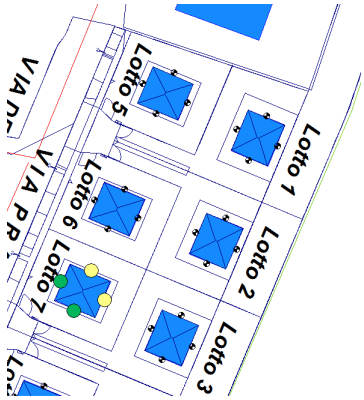
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 6:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt060	lotto 6 1 GF N/E	60.0	47.9	50.0	43.4
IPkt061	lotto 6 1 UF1N/E	60.0	49.5	50.0	44.9
IPkt062	lotto 6 2 GF S/E	60.0	43.8	50.0	37.1
IPkt063	lotto 6 2 UF1S/E	60.0	46.1	50.0	40.3
IPkt064	lotto 6 3 GF S/W	60.0	45.3	50.0	40.4
IPkt065	lotto 6 3 UF1S/W	60.0	46.1	50.0	41.2
IPkt066	lotto 6 4 GF N/W	60.0	45.6	50.0	40.5
IPkt067	lotto 6 4 UF1N/W	60.0	47.2	50.0	42.3



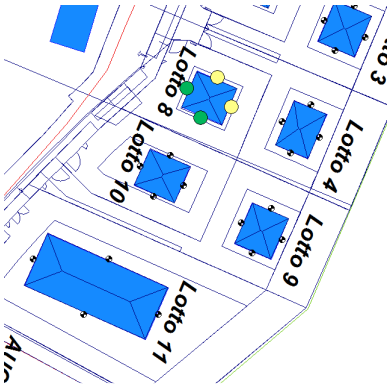
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 7:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt076	lotto 7 1 GF N/E	60.0	48.5	50.0	43.9
IPkt077	lotto 7 1 UF1N/E	60.0	49.4	50.0	44.8
IPkt078	lotto 7 2 GF S/E	60.0	48.3	50.0	43.6
IPkt079	lotto 7 2 UF1S/E	60.0	49.3	50.0	44.5
IPkt080	lotto 7 3 GF S/W	60.0	42.5	50.0	35.9
IPkt081	lotto 7 3 UF1S/W	60.0	43.6	50.0	37.1
IPkt082	lotto 7 4 GF N/W	60.0	43.6	50.0	38.2
IPkt083	lotto 7 4 UF1N/W	60.0	44.7	50.0	39.4



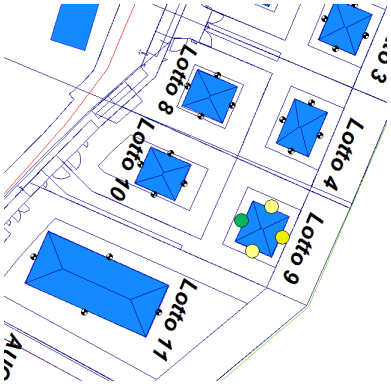
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 8:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt092	lotto 8 1 GF N/E	60.0	47.3	50.0	42.9
IPkt093	lotto 8 1 UF1N/E	60.0	48.1	50.0	43.5
IPkt094	lotto 8 2 GF S/E	60.0	46.1	50.0	41.0
IPkt095	lotto 8 2 UF1S/E	60.0	47.5	50.0	42.3
IPkt096	lotto 8 3 GF S/W	60.0	42.6	50.0	35.5
IPkt097	lotto 8 3 UF1S/W	60.0	43.6	50.0	36.5
IPkt098	lotto 8 4 GF N/W	60.0	42.0	50.0	36.4
IPkt099	lotto 8 4 UF1N/W	60.0	42.8	50.0	37.3



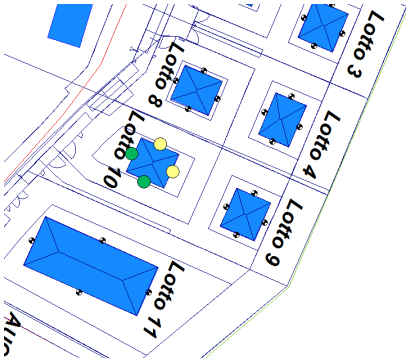
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 9:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt108	lotto 9 1 GF N/W	60.0	40.5	50.0	34.0
IPkt109	lotto 9 1 UF1N/W	60.0	41.4	50.0	35.3
IPkt110	lotto 9 2 GF S/W	60.0	44.7	50.0	36.7
IPkt111	lotto 9 2 UF1S/W	60.0	45.8	50.0	37.9
IPkt112	lotto 9 3 GF S/E	60.0	49.5	50.0	44.0
IPkt113	lotto 9 3 UF1S/E	60.0	50.3	50.0	44.7
IPkt114	lotto 9 4 GF N/E	60.0	48.9	50.0	43.9
IPkt115	lotto 9 4 UF1N/E	60.0	49.5	50.0	44.5



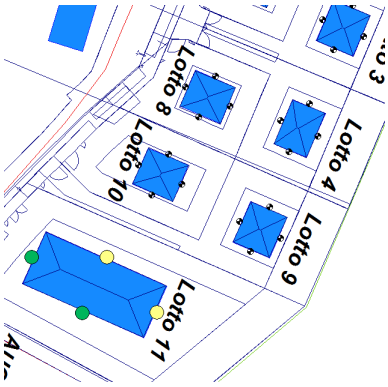
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 10:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt116	lotto 10 1 GF N/E	60.0	44.3	50.0	38.7
IPkt117	lotto 10 1 UF1N/E	60.0	46.3	50.0	41.1
IPkt118	lotto 10 2 GF S/E	60.0	46.8	50.0	41.9
IPkt119	lotto 10 2 UF1S/E	60.0	47.6	50.0	42.5
IPkt120	lotto 10 3 GF S/W	60.0	42.8	50.0	35.7
IPkt121	lotto 10 3 UF1S/W	60.0	43.8	50.0	36.7
IPkt122	lotto 10 4 GF N/W	60.0	41.5	50.0	35.9
IPkt123	lotto 10 4 UF1N/W	60.0	42.2	50.0	36.5



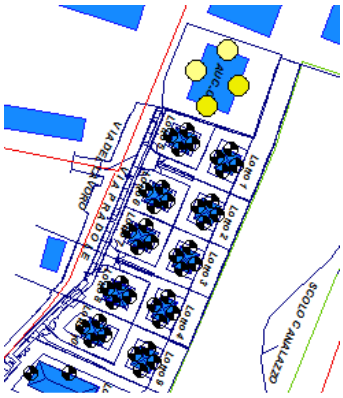
Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il lotto 11:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt124	lotto 11 1 GF N/E	60.0	44.5	50.0	38.6
IPkt125	lotto 11 1 UF1N/E	60.0	46.1	50.0	40.6
IPkt126	lotto 11 2 GF S/E	60.0	47.2	50.0	41.4
IPkt127	lotto 11 2 UF1S/E	60.0	48.0	50.0	42.0
IPkt128	lotto 11 3 GF S/W	60.0	43.6	50.0	36.2
IPkt129	lotto 11 3 UF1S/W	60.0	44.6	50.0	37.0
IPkt130	lotto 11 4 GF N/W	60.0	41.6	50.0	35.9
IPkt131	lotto 11 4 UF1N/W	60.0	42.2	50.0	36.5



Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il l'edificio AUC-C posto a nord dell'area di intervento:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt031	rec. 2 1 GF East	60.0	50.3	50.0	45.3
IPkt032	rec. 2 1 UF1East	60.0	50.8	50.0	45.9
IPkt033	rec. 2 1 UF2East	60.0	51.5	50.0	46.4
IPkt034	rec. 2 2 GF Sout	60.0	47.9	50.0	43.5
IPkt035	rec. 2 2 UF1Sout	60.0	48.9	50.0	44.5
IPkt036	rec. 2 2 UF2Sout	60.0	50.3	50.0	45.6
IPkt037	rec. 2 3 GF West	60.0	46.9	50.0	41.9
IPkt038	rec. 2 3 UF1West	60.0	48.4	50.0	43.6
IPkt039	rec. 2 3 UF2West	60.0	49.3	50.0	44.3
IPkt040	rec. 2 4 GF Nort	60.0	44.8	50.0	38.7
IPkt041	rec. 2 4 UF1Nort	60.0	46.1	50.0	40.2
IPkt042	rec. 2 4 UF2Nort	60.0	48.3	50.0	42.8



Esposizione bersagli puntuali di facciata, presso il l'edificio AUC-C posto a sud dell'area di intervento:

Short list					
Noise prediction					
progetto					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt023	rec.1 - G 1 GF N/W	60.0	41.8	50.0	36.0
IPkt024	rec.1 - G 1 UF1N/W	60.0	42.0	50.0	36.2
IPkt025	rec.1 - G 2 GF S/W	60.0	43.6	50.0	35.4
IPkt026	rec.1 - G 2 UF1S/W	60.0	44.4	50.0	35.8
IPkt027	rec.1 - G 3 GF S/E	60.0	47.3	50.0	41.2
IPkt028	rec.1 - G 3 UF1S/E	60.0	48.0	50.0	41.4
IPkt029	rec.1 - G 4 GF N/E	60.0	46.1	50.0	41.2
IPkt030	rec.1 - G 4 UF1N/E	60.0	46.4	50.0	41.2



Lettura commentata dei risultati di calcolo

Rispetto alla lettura dei valori limite assoluti di III classe (60dBA diurni e 50dBA notturni), appare immediatamente evidente, attraverso la verifica di esposizione ai bersagli puntuali, come per tutti i nuovi edifici e anche per i due AUC-C per cui si prevede la riclassificazione da V a III classe, sia più che rispettato il parametro di legge.

Un ragionamento a parte vale invece per il differenziale, per il quale si rende necessario ripercorrere in esteso i ragionamenti che porteranno a sostenere la non applicabilità del criterio ai recettori individuati.

Partiamo innanzi tutto dalle definizioni di legge.

> *"I valori limite differenziali di immissione, definiti all'art. 2, comma 3, lettera b), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, sono:*
>
> *5 dB per il periodo diurno e*
>
> *3 dB per il periodo notturno, all'interno degli ambienti abitativi.*
>
> *…*
>
> *2. Le disposizioni di cui al comma precedente non si applicano nei seguenti casi, in quanto ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile:*
>
> *a) se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;*
>
> *b) se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno."*

All'art. 2, comma 3, lett.b, della L.447/95 troviamo la definizione di valore limite differenziale:

> *"3. I valori limite di immissione sono distinti in:*
>
> *…*
>
> *b) valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo."*

Mentre troviamo nel DM 16/03/98 la definizione di rumore ambientale e residuo:

> *"11. Livello di rumore ambientale (LA): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo.*
>
> *Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti, con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona. E' il livello che si confronta con i limiti massimi di esposizione:*
>
> *1) nel caso dei limiti differenziali, è riferito a TM*
>
> *2) nel caso di limiti assoluti è riferito a TR*

12. Livello di rumore residuo (LR): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante. Deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale e non deve contenere eventi sonori atipici.

13. Livello differenziale di rumore (LD): differenza tra livello di rumore ambientale (LA) e quello di rumore residuo (LR): LD = (LA – LR).”

Riprendiamo poi anche la definizione di ambiente abitativo, per come descritto all’art. 2, comma 1, lett. B della L.447/95:

“b) ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive;”

A fronte di tutto quanto sopra riportato è possibile quindi riportare le riflessioni seguenti, partendo dalla considerazione che i valori simulati in facciata agli edifici bersaglio (i livelli sonori di cui alle tabelle del paragrafo precedente, sono dei valori calcolati in ambiente esterno che assorbono anche le riflessioni di facciata, mentre da riferimenti bibliografici e rilevazioni dirette su edifici esistenti è possibile assumere che, rispetto al livello sonoro di facciata, quello interno agli ambienti abitativi, arredati e a centro stanza, sia inferiore circa di 5dBA.

Stando a tale assunto, in periodo diurno, tutti i valori di calcolo porterebbero a sostenere che i livelli indotti all’interno degli ambienti abitativi sono addirittura al di sotto della soglia di applicabilità del criterio differenziale medesimo: se il leq di facciata massimo calcolato è quello relativo al lotto 1 al primo piano, con 52,1dBA diurni, è possibile stimare un indotto sonoro interno pari a 47dBA, valore inferiore ai 50dBA individuati come soglia diurna a finestre aperte.

In periodo notturno non possiamo invece sostenere il medesimo assunto.

Prendendo anche in questo caso a riferimento il lotto maggiormente esposto, il numero 1 al primo piano, vediamo che se in esterno si sono stimati 47,4dBA, all’interno se ne possono attendere 42,4.

Analogamente troveremmo 41,9dBA per il lotto 2; 41,6 per il 3 e 40,6 per il 4.

Troveremmo inoltre 42,4dBA anche al secondo piano del recettore esistente (AUC-C) posto a nord del lotto di intervento, al secondo piano.

Per tutti i restanti lotti l’indotto sarebbe invece inferiore a 40dBA e quindi anche in questo caso sotto soglia per l’applicazione del criterio.

Volendo effettuare quindi una verifica presso i bersagli 1, 2, 3 e 4 al primo piano, oltre che presso il recettore esistente al secondo, dobbiamo andare ad identificare il residuo e l’ambientale come da termini di legge, visto che i valori sopra riportati sono comprensivi sia dell’indotto produttivo, sia dell’indotto da traffico stradale.

Approfondiamo quindi il calcolo ai bersagli su questi cinque punti (allargando l'analisi anche ai piani terra per gli edifici in progetto e ai piani primo e terra per il recettore esistente, comunque impattati, anche se in misura leggermente inferiore), andando a isolare il solo contributo sonoro da sorgenti fisse:

Short list					
Noise prediction					
progetto solo impian					
		Giorno		Notte	
		LV	L r,A	LV	L r,A
		/dB	/dB	/dB	/dB
IPkt031	rec. 2 1 GF East	60.0	50.1	50.0	45.1
IPkt032	rec. 2 1 UF1East	60.0	50.6	50.0	45.6
IPkt033	rec. 2 1 UF2East	60.0	51.3	50.0	46.1
IPkt048	lotto 1 3 GF S/E	60.0	51.3	50.0	46.6
IPkt049	lotto 1 3 UF1S/E	60.0	51.9	50.0	47.1
IPkt074	lotto 2 4 GF N/E	60.0	50.6	50.0	46.0
IPkt075	lotto 2 4 UF1N/E	60.0	51.2	50.0	46.6
IPkt088	lotto 3 3 GF S/E	60.0	50.9	50.0	46.0
IPkt089	lotto 3 3 UF1S/E	60.0	51.5	50.0	46.5
IPkt106	lotto 4 4 GF N/E	60.0	49.5	50.0	44.8
IPkt107	lotto 4 4 UF1N/E	60.0	50.0	50.0	45.2

I livelli sono leggermente inferiori rispetto a quelli delle tabelle precedenti, ma soprattutto in periodo notturno appare evidente come l'impatto dominante sia determinato proprio dalle sorgenti produttive.

Proiettiamo quindi all'interno degli ambienti abitativi i valori, andando a definire il rumore ambientale presso gli ambienti bersaglio:

		Notte	
		LV	L r,A
		/dB	/dB
IPkt031	rec. 2 1 GF East	50.0	40.1
IPkt032	rec. 2 1 UF1East	50.0	40.6
IPkt033	rec. 2 1 UF2East	50.0	41.1
IPkt048	lotto 1 3 GF S/E	50.0	41.6
IPkt049	lotto 1 3 UF1S/E	50.0	42.1
IPkt074	lotto 2 4 GF N/E	50.0	41.0
IPkt075	lotto 2 4 UF1N/E	50.0	41.6
IPkt088	lotto 3 3 GF S/E	50.0	41.0
IPkt089	lotto 3 3 UF1S/E	50.0	41.5
IPkt106	lotto 4 4 GF N/E	50.0	39.8
IPkt107	lotto 4 4 UF1N/E	50.0	40.2

Nel caso peggiore la soglia minima di applicabilità del criterio viene superata di 2 dBA.

Andiamo quindi a determinare quale sia il rumore residuo di zona.

A questo proposito si rammenta di aver dato riscontro, durante uno dei due monitoraggi di periodo diurno (post. A), ad un momento di totale fermo macchina presso le aziende limitrofe, per via di un distacco globale della corrente, a livelli sonori pari a 35dBA, valore che probabilmente scende ulteriormente in periodo notturno. Prendendo a riferimento il dato dei 35dBA si dovrebbe comunque già dare riscontro ad

un superamento del delta massimo ammissibile dei 3dBA, sia presso il recettore esistente, sia presso gli affacci di progetto indicati.

L'azienda imputabile del maggiore impatto sui bersagli, la Politec, è tuttavia un'azienda operante a ciclo produttivo continuo, e come normativamente indicato alla Circ. Min. circolare 6 settembre 2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. "Interpretazione in materia di inquinamento acustico: criterio differenziale e applicabilità dei valori limite differenziali." (GU n. 217 del 15-9-2004), le relative emissioni sono esentate dalla verifica del differenziale presso i bersagli esposti:

> *"6. Impianti a ciclo produttivo continuo: Come definito dal decreto ministeriale 11 dicembre 1996, l'impianto a ciclo produttivo continuo e':*
>
> *…*
>
> *Si precisa infine che nel caso di impianto esistente oggetto di modifica (ampliamento, adeguamento ambientale, etc.), non espressamente contemplato dall'art. 3 del decreto ministeriale 11 dicembre 1996, l'interpretazione corrente della norma si traduce nell'applicabilità' del criterio differenziale limitatamente ai nuovi impianti che costituiscono la modifica."*

Interpretazione che completa quanto riportato all'art. 3 del DM del '96:

> *1.Fermo restando l'obbligo del rispetto dei limiti di zona fissati a seguito dell'adozione dei provvedimenti comunali di cui all'art.6 comma 1,lettera a) della legge 26 ottobre 1996 n.447,gli impianti a ciclo produttivo eistenti sono soggetti alle disposizioni di cui all'art.2,comma 2, del decreto del Presidente della Repubblica 1°marzo 1991(criterio differenziale) quando non siano rispettati i valori assoluti di immissione, come definiti dall'art.2,comma 1 lettera f) della legge 26 ottobre 1996 n.447.*
>
> *2.Fermo restando il disposto dell'art.6 comma 1, lettera d), e dell'art.8, comma 4,della legge 26 ottobre 1996 n.447,per gli impianti a ciclo produttivo continuo, realizzati dopo l'entrata in vigore del presente decreto, il rispetto del criterio differenziale è condizione necessaria per il rilascio della relativa concessione."*

Leggiamo dal sito della ditta Politec le date di istallazione degli impianti, antecedenti il '96:

"La storia

1978 Fondazione Politec

1980 Inizio attività di compounding di polipropilene una linea produttiva da 6000 T/A di capacità. Superficie 10000 m2.

1986 Installazione di una seconda linea, capacità produttiva 12000 T/A Superficie coperta 3500 m2.

1991 Installazione di un impianto di riciclaggio di 6000 T/A per il trattamento sia di scarti industriali, sia di manufatti end-life (paraurti) per attuare il progetto F.A.RE (Fiat auto recycling) in collaborazione con Fiat auto e Himont. Installazione di un nuovo impianto di stoccaggio (8 silos) da 1000 m3 corrispondenti a 500 T di materia prima da trasformare, interamente controllato per mezzo di PLC/PC con software gestionale. Acquisizione di nuove aree e



costruzione di nuovi capannoni che portano la superficie totale a 21000 m2 di cui m2

1998 Ottenimento certificazione UNI EN ISO 9002

2003 Adeguamento del sistema gestione qualita' alle norme UNI EN ISO 9001:2000

Possiamo quindi definitivamente sintetizzare la verifica del differenziale notturno presso i soli affacci potenzialmente fuori norma come di seguito riportato:

- i delta di periodo notturno in ambite abitativo fra rumore ambientale e residuo, sono sicuramente superiori ai 3dBA di legge per ogni bersaglio, in ragione di un residuo di zona oggettivamente molto contenuto;
- i livelli di rumore ambientale stimati mediante calcolo previsionale portano tuttavia a definire dei livelli d'impatto al di sopra della soglia di applicabilità del criterio differenziale soltanto per 4 degli affacci di progetto ed uno esistente;
- l'azienda che genera questi superamenti è però un'azienda operante a ciclo produttivo continuo fin da prima del '96 e stando a quanto disposto dal DM 11/12/96 "Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo", alla medesima non si applica la verifica differenziale, nel caso in cui i limiti assoluti siano rispettati e nel presente caso essi sono rispettati;

quale deduzione logica avremo dunque che anche per il periodo notturno il differenziale risulta non applicabile, anche se per una diversa motivazione rispetto al diurno.

CONCLUSIONI

Prima di arrivare alle conclusioni della presente indagine acustica riprendiamo di seguito gli obiettivi prestazionali che ci si era prefissi, per poter sostenere la compatibilità dell'area all'edificazione ad uso residenziale, in Variante, rispetto a quanto inizialmente pianificato.

Riprendendo un breve tratto del testo di premessa leggiamo:

"In estrema sintesi, le valutazioni da effettuare saranno dunque le seguenti:

- *Verifica dei valori limite assoluti di classe III per indotto di tutte le sorgenti di zona, presso i futuri affacci residenziali e presso tutte le aree esterne di pertinenza delle abitazioni;*
- *Verifica dei valori limite differenziali, per indotto delle sole emissioni da sorgenti fisse di natura produttiva, presso gli ambienti abitativi di progetto."*

A fronte della proposta di riclassificazione anche per i due lotti residenziali esistenti in confine alla nuova area residenziale, le stesse verifiche verranno affrontate anche presso detti bersagli."

Vediamo quindi, in base a tali obiettivi, quale sia stato il definitivo esito delle simulazioni.

Dall'analisi dei risultati di calcolo, tradotti in mappe previsionali e calcolo diretto ai bersagli, si è rilevato che la sorgente dominante in sito è rappresentata dalle vicine attività produttive, alcune delle quali operanti anche in periodo notturno, seppure con una riduzione delle emissioni, come documentato dai due monitoraggi in continuo acquisiti ai due estremi del futuro filo edificato residenziale.

Al contrario appare del tutto risibile l'impatto da traffico.

Dall'analisi delle mappature acquisite a 4m da terra per lo scenario di progetto, così come dal calcolo dei bersagli puntuali di facciata, si sono poi approfondite le verifiche normative ai paragrafi precedenti, giungendo alle considerazioni che seguono:

a) **appare evidente il pieno rispetto normativo dei limiti assoluti di III classe**, avendo registrato i seguenti valori massimi di esposizione a rumore, nei due periodi di riferimento:
   - Leq massimo di impatto in periodo diurno, registrato sul fronte sud-est del lotto 1, al primo piano, pari a 52,1dBA;
   - Leq massimo di impatto in periodo notturno, registrato sul fronte sud-est del lotto 1, al primo piano, pari a 47,4dBA.

b) **Il differenziale di periodo diurno appare non applicabile**, avendo dimostrato di essere sempre sotto soglia per l'applicabilità del criterio medesimo (livelli stimato mediante calcolo previsionale, all'interno degli ambienti abitativi inferiori a 50dBA);

c) **Il differenziale di periodo notturno appare non applicabile**, avendo dimostrato di essere sempre sotto soglia per l'applicabilità del criterio medesimo (livelli stimato mediante calcolo previsionale, all'interno degli ambienti abitativi inferiori a 40dBA) per tutti i lotti di progetto, eccetto l'1, il 2, il3 e il 4; presso il lotti da 1 a 4 e presso il recettore esistente posto a nord della nuova lottizzazione si registrerebbero al contrario dei superamenti sui fronti est affacciati al produttivo, ma anche in tal caso il criterio differenziale apparirebbe non applicabile, essendo l'azienda maggiormente impattante il bersaglio, la Politec, un azienda operante a ciclo produttivo continuo fin da prima del '96.

Si può quindi definitivamente sostenere la compatibilità acustica del sito alla futura edificazione residenziale, in ragione del riscontrato rispetto normativo.

In un'ottica di ottimizzazione del progetto atta a garantire il benessere abitativo dei futuri residenti si suggerisce tuttavia, pur avendo verificato la non applicabilità del differenziale, di operare comunque in ottica migliorativa, verificando per gli affacci est dei lotti 1, 2, 3 e 4, la possibilità di non inserimento di affacci notte su tali fronti, così come si potrebbe ipotizzare la realizzazione di edifici in grado di auto-schermarsi.

A titolo esemplificativo si potrebbe per esempio proporre l'edificazione di corpi edificati che su tale fronte affacciano per esempio con ambienti con tetto a vista, ove gli affacci, anziché di tipo tradizionale sono realizzati mediante terrazzino ad asola, velux o simili (vedasi foto sotto), così da realizzarsi, con la stessa sagoma dell'edificio, una soluzione in auto protezione dal rumore esterno, privilegiando il posizionamento degli infissi sulla falda opposta al fronte produttivo.

Queste scelte costruttive, unitamente alla corretta progettazione della disposizione interna dei vani, permetterebbero di raggiungere agevolmente il rientro nei parametri oltre che della III classe, già abbondantemente garantita, anche con soluzioni costruttive tradizionali, ottimizzando tuttavia ulteriormente la qualità dell'abitare presso le future residenze.

Occorre tuttavia rimandare queste valutazioni alla fase di progettazione edilizia dei singoli corpi di fabbrica, mentre ad oggi, dovendo unicamente verificare la compatibilità della destinazione residenziale, rispetto al clima acustico di zona, possiamo sostenere, alla luce delle considerazioni fin qui esposte, ***la piena e totale compatibilità dell'area alla destinazione residenziale, avendo dimostrato la possibilità del pieno rientro a norma del futuro edificato***, in riferimento all'insieme di tutte le sorgenti sonore di zona ed ai valori limite caratteristici della III classe acustica.











Soluzioni di chiusura di un piano mansardato con velux o abbaino

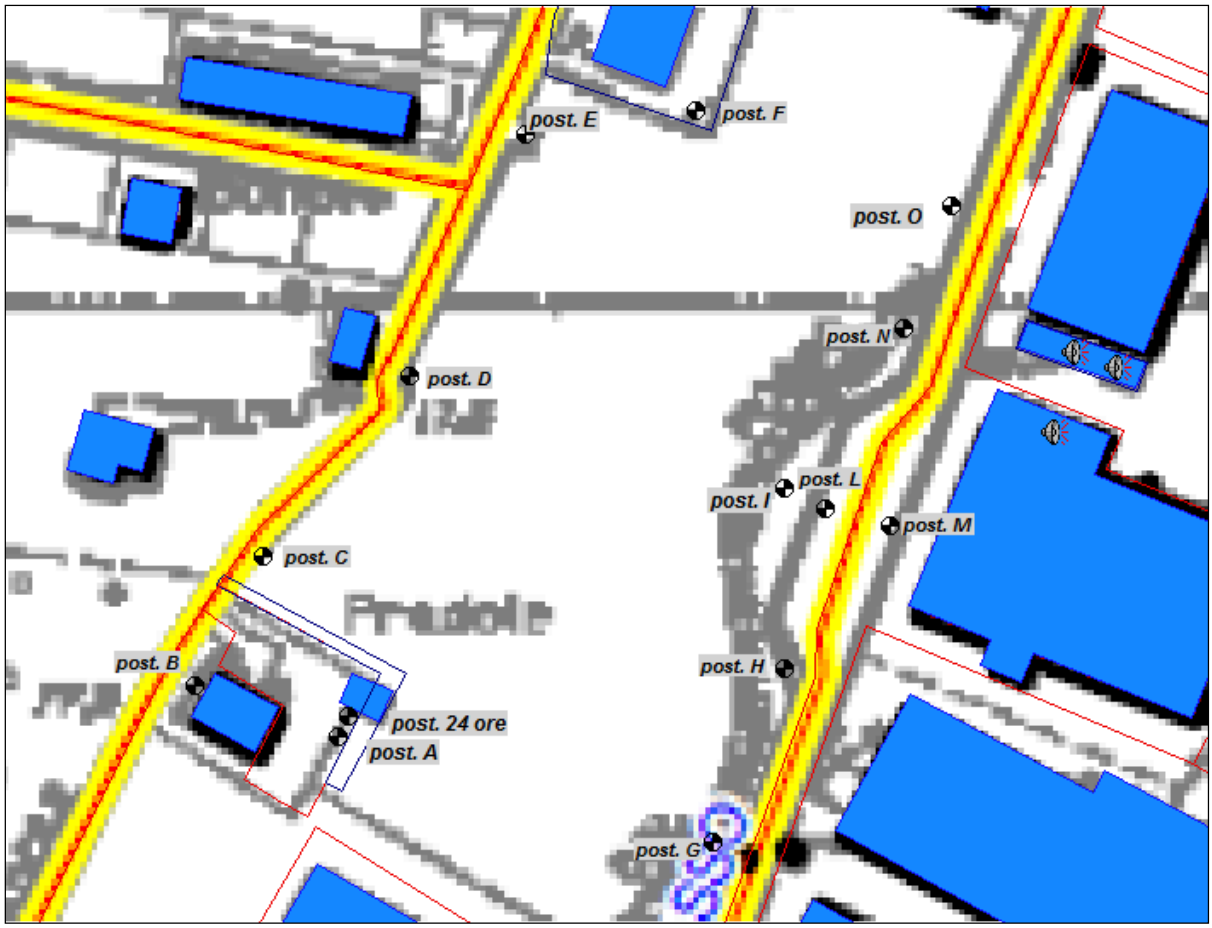






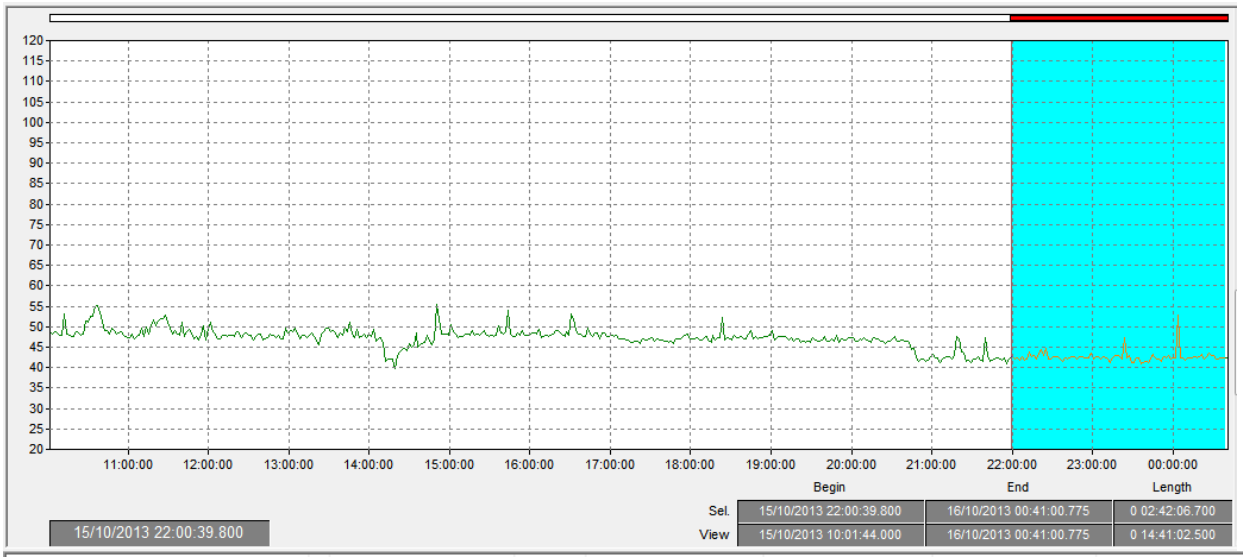
Soluzioni di chiusura di un piano mansardato con terrazzo ad asola

ALLEGATO: QUADERNO DEI RILIEVI FONOMETRICI



Localizzazione postazioni di misura sull'area di interesse

Monitoraggio 24 ore postazione "A", h. microfono 1,8m



Marker	Effective duration	Notes	Average: LAeq, ...	L 10,0%: LAeq, ...	L 50,0%: LAeq,...	L 90,0%: LAeq, ...
C:\Lavori\misure pieve\...			47,3 dB	49,2 dB	46,7 dB	41,6 dB
notte	0 02:41:00.775 (1)		43,0 dB	44,0 dB	42,2 dB	40,7 dB

Analisi sintetica del risultato di misura:

Leq D = media (giorno1, giorno2) = 48,3dBA Leq N = (notte1) = 43dBA

Analisi dei livelli statistici campionati:

L10 D = 49,6dBA L10 N = 44,0dBA

L50 D = 47,3dBA L50 N = 42,2dBA

L90 D = 45,5dBA L90 N = 40,7dBA

Descrizione segnale registrato:

il segnale registrato è prevalentemente imputabile alle emissioni sonore delle aziende frontistanti l'area, anche se collocate a distanza essendo esse posizionate lungo via del Fosso, ma con sorgenti anche in alzato (silos ed espulsioni in copertura); al contrario appare meno evidente l'indotto da traffico da via del Fosso.

Le ditte operanti anche in periodo notturno sono:

- Politec (riciclo materiali plastici), attiva sull'intero periodo delle 24 ore, ad eccezione del solo fine settimana;
- Bondioli e Pavesi – HpHidraulic, attiva su due turni lavorativi, con chiusura alle ore 21(orario in concomitanza del quale si riscontra, sulla strisciata grafica di misura, la flessione di circa 5dBA per il leq istantaneo registrato; in via speculare possiamo poi di nuovo registrare l'aumento dei 3dBA fra le 5:30 del mattino e le 6, in concomitanza della riapertura d'azienda).

Segnaliamo inoltre come, poco dopo le 14 del pomeriggio della prima giornata di rilievo si sia assistito ad'un'interruzione della fornitura elettrica su tutta l'area, così da poter definire il reale fondo di zona, in assenza di sorgenti produttive (parte evidenziata con un rettangolo in grafico di misura): 35,1dBA.

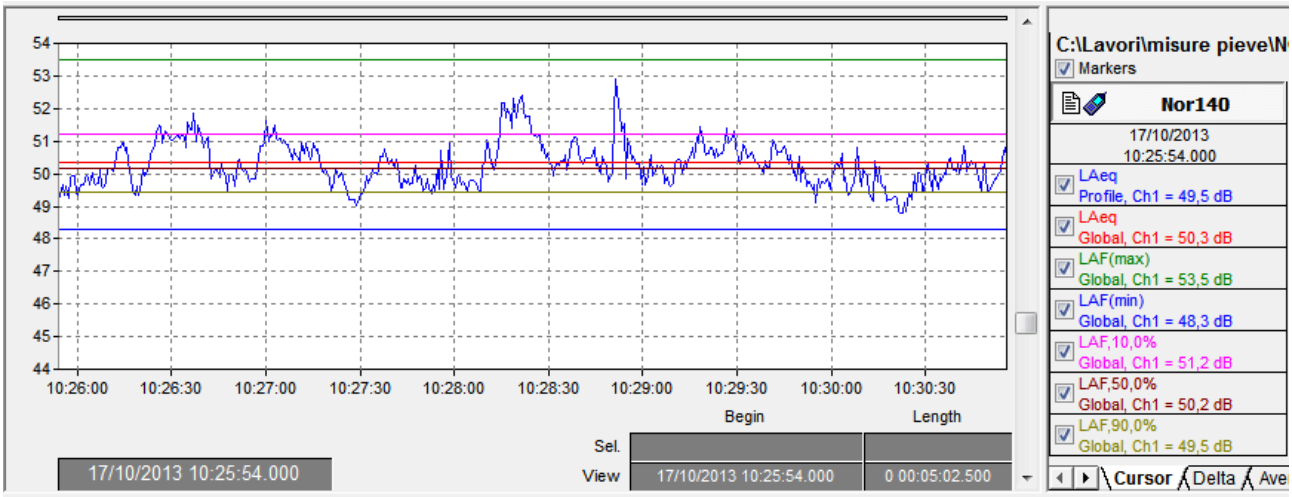




Postazione A: Leq = 50,3dBA; L10 = 51,2dBA; L50 = 50,2dBA; L90 = 49,5dBA

Note postazione: interno proprietà privata Govoni, ad altezza microfono 4m.

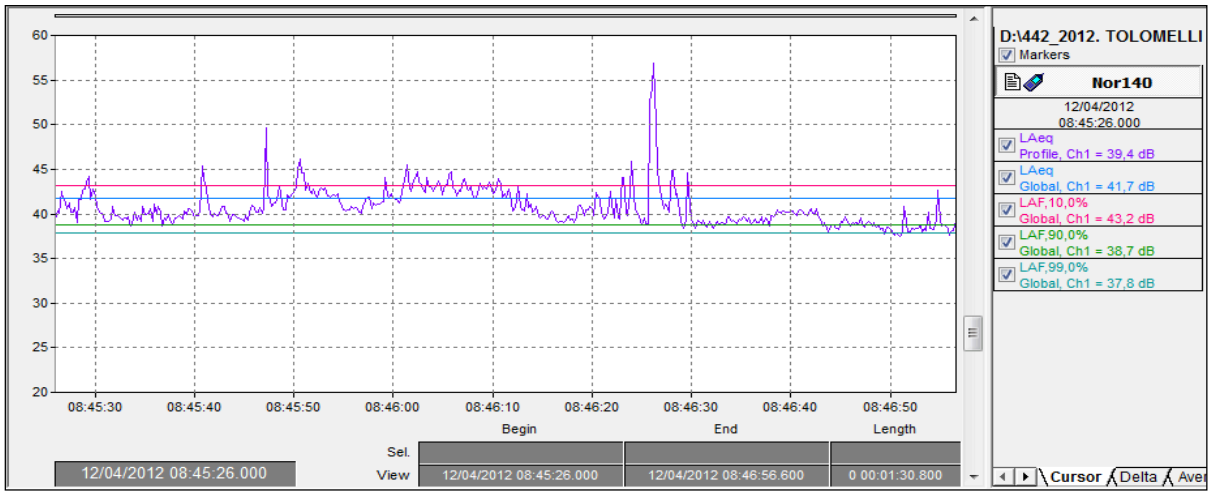
Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e transiti auto su via del Fosso. Non si registrano eventi anomali da segnalare.



Postazione B: Leq = 41,7dBA; L10 = 43,2dBA; L90 = 38,7dBA; L99 = 37,8dBA

Note postazione: retro proprietà privata Govoni, ad altezza microfono 4m. La posizione è in zona schermata dalle emissioni di origine produttiva e permette la captazione del clima acustico di zona in condizione indisturbata. NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

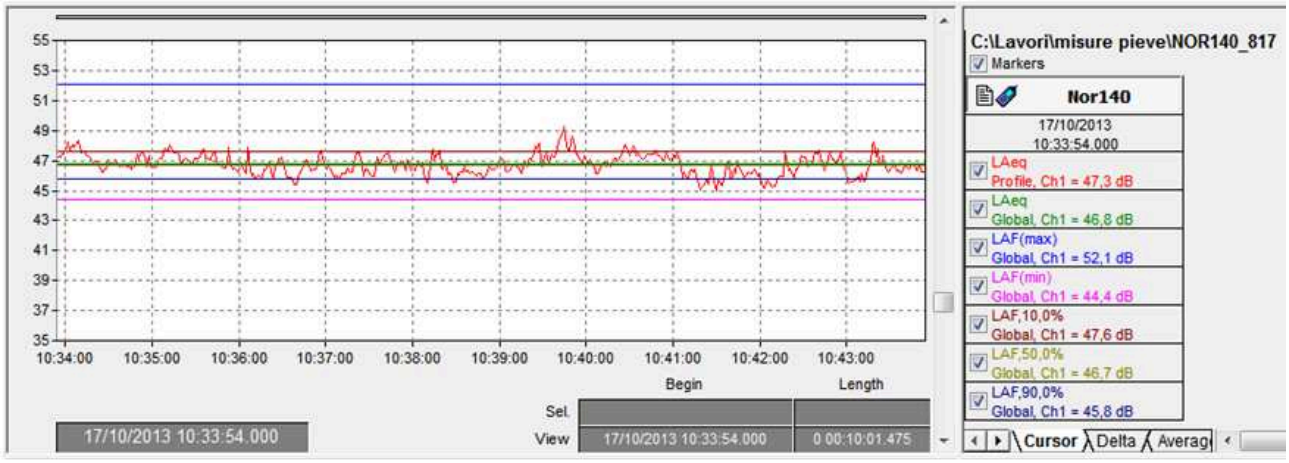
Sorgenti dominanti: nessuna nello specifico. Il clima acustico di zona viene condizionato dai normali rumori della campagna (animali, vegetazione), oltre ad un leggero fondo indotto dal traffico della SP 18, asse primario di accesso all'abitato di Pieve, provenendo da sud.



Postazione C: Leq = 46,8dBA; L10 = 47,6dBA; L90 = 45,8dBA

Note postazione: margine proprietà privata Govoni, su via Pradole, ad altezza microfono 4m.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive. Non si registrano eventi anomali e neppure transiti veicolari su via Pradole. La postazione è impattata unicamente dall'indotto delle frontistanti attività produttive, oltre a registrare il fondo naturale di zona, come da post. B.

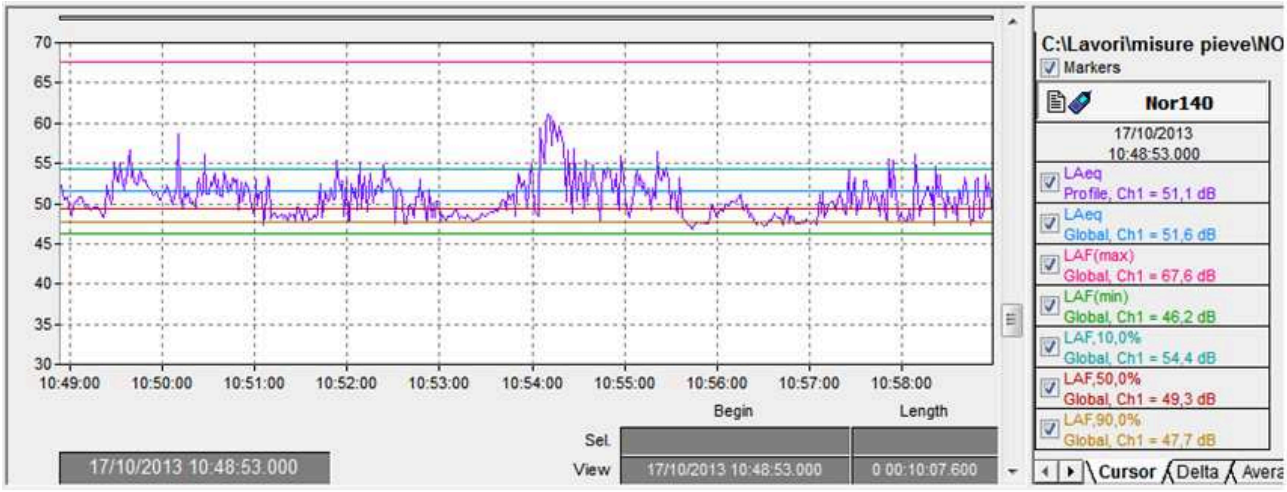




Postazione D: Leq = 51,6dBA; L10 = 54,4dBA; L90 = 47,7dBA

Note postazione: su via Pradole, ad altezza microfono 4m.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive. Fra gli eventi da segnalare, la quasi continua presenza dell'abbaiare di cani, come leggibile sulla strisciata grafica di misura; alle 10:54 si registra poi il transito di un'autoambulanza con sirena, a distanza. Ai fini della taratura del modello di calcolo, vista l'incidenza di questi eventi, si utilizzerà l'L50, qui pari a 49,3dBA.

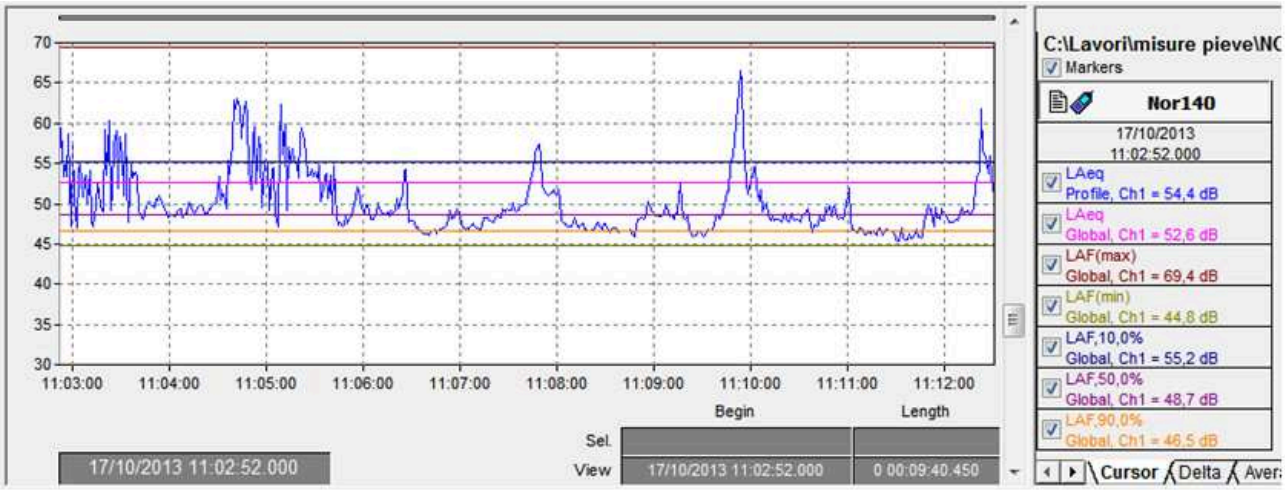




Postazione E: Leq = 52,6dBA; L10 = 55,2dBA; L90 = 46,5dBA

Note postazione: su via Pradole, in prossimità dell'incrocio con via Lavoro, ad altezza microfono 4m.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico sulle vie Pradole e Lavoro. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari di interscambio fra via Pradole (per il solo tratto a nord di via Lavoro) e via Lavoro: si è trattato di 3 passaggi veicolari, mentre nei primi minuti di misura si è registrato l'abbaiare di un cane.

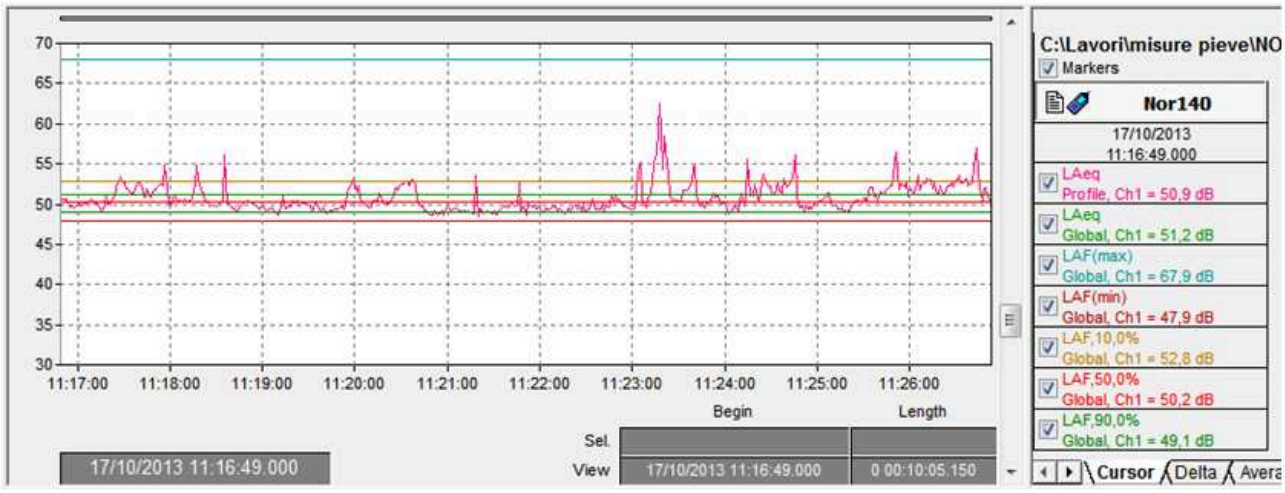




Postazione F: Leq = 51,6dBA; L10 = 52,7dBA; L90 = 46,8dBA; L99 = 46,1dBA

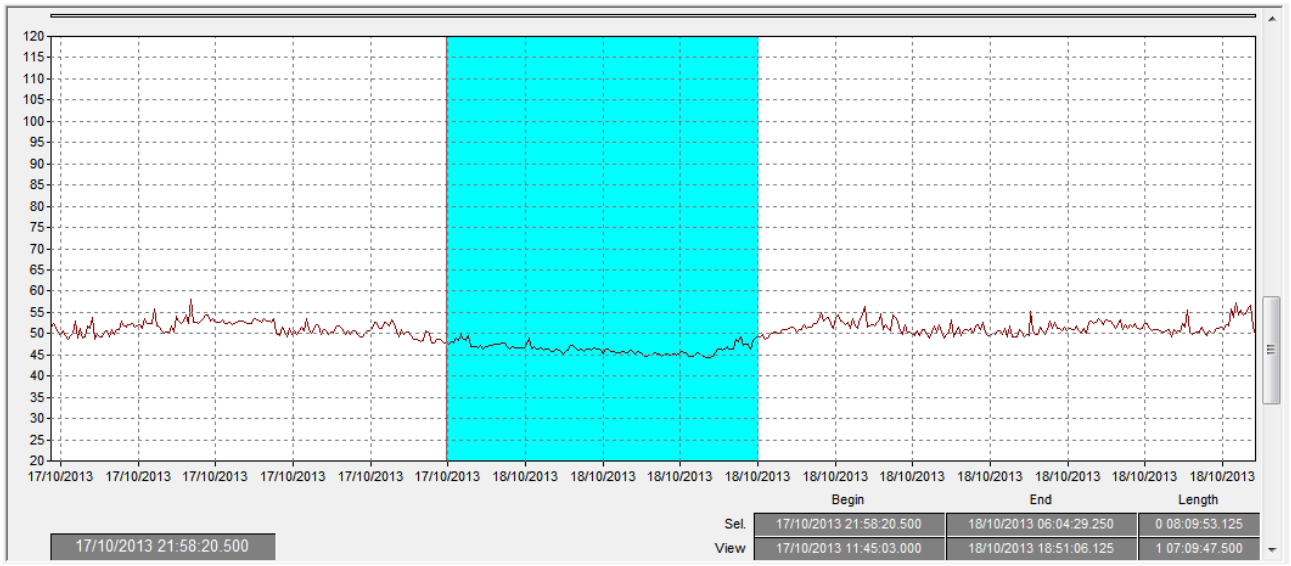
Note postazione: fondo proprietà privata, lungo via Pradole, ad altezza microfono 4m. NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive frontistanti.





Monitoraggio 24 ore (postazione “F”, h. microfono 4m



Marker	Effective duration	Notes	Average: LAeq, ...	L 10,0%: LAeq, ...	L 50,0%: LAeq,...	L 90,0%: LAeq, ...
C:\Lavori\misure pieve\...			50,8 dB	53,0 dB	49,4 dB	45,7 dB
notte	0 08:00:00.000 (1)		46,5 dB	48,0 dB	46,1 dB	44,5 dB

Analisi sintetica del risultato di misura:

Leq D = media (giorno1, giorno2) = 51,8dBA Leq N = (notte1) = 46,5dBA

Analisi dei livelli statistici campionati:

L10 D = 53,5dBA L10 N = 48,0dBA

L50 D = 50,2dBA L50 N = 46,1dBA

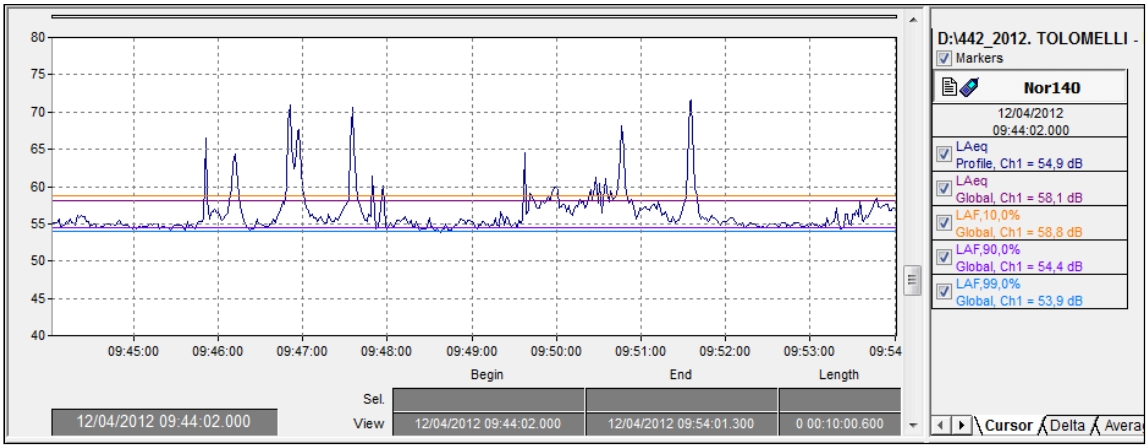
L90 D = 48,1dBA L90 N = 44,4dBA

Postazione G: Leq = 58,1dBA; L10 = 58,8dBA; L90 = 54,4dBA; L99 = 53,9dBA

Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'azienda PMC, ad altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, non si rilevano sorgenti dominanti su altre in esterno alla vicina PMC, ma solo la rumorosità diffusa generata dall'intera area produttiva nel complesso. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso, i quali portano alla determinazione del leq di postazione: si registrano, durante il TM, 8 transiti veicolari (auto o furgoni), mentre fra il 5^ ed il 7^ minuto si registra un sorvolo aereo.





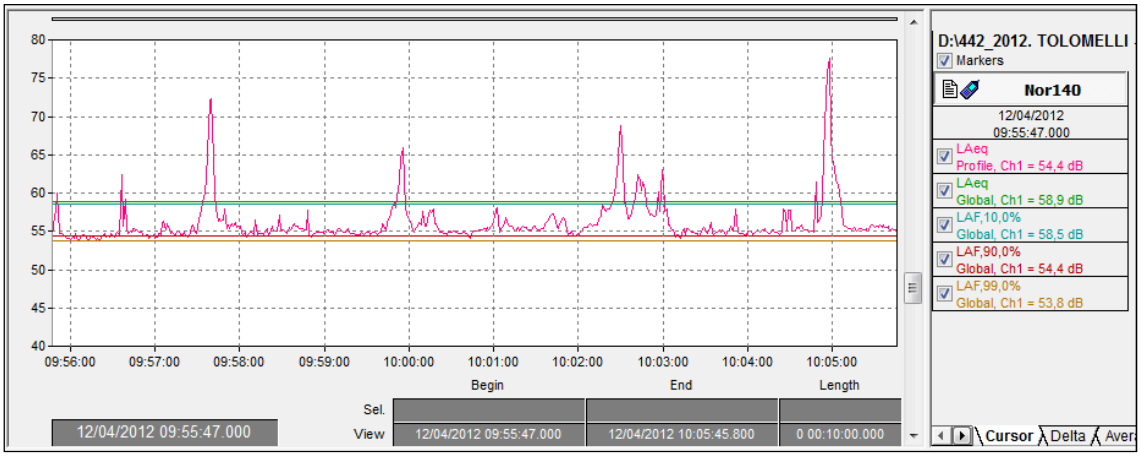


Postazione H: Leq = 58,9dBA; L10 = 58,5dBA; L90 = 54,4dBA; L99 = 53,8dBA

Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'azienda Bondioli, ad altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, non si rilevano sorgenti dominanti su altre, in esterno alla vicina Bondioli, ma solo la rumorosità diffusa generata dall'intera area produttiva nel complesso. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso, i quali portano alla determinazione del leq di postazione: si registrano, durante il TM, 4 transiti veicolari (auto o furgoni), di cui quello al 6^ minuto, pesante, in ingresso alla Bondioli, ove fa manovra.





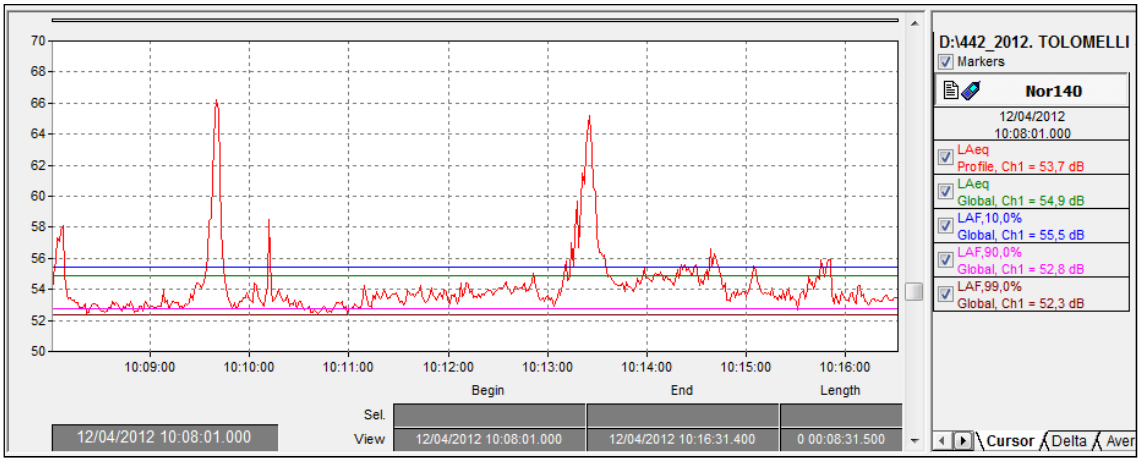


Postazione I: Leq = 54,9dBA; L10 = 55,5dBA; L90 = 52,8dBA; L99 = 52,3dBA

Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'azienda Politec, in esterno parcheggio, ad altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, non si rilevano sorgenti dominanti su altre in esterno alla vicina Politec, ma solo la rumorosità diffusa generata dall'intera area produttiva nel complesso. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso, i quali portano alla determinazione del leq di postazione: un auto a inizio misura, un camion al 2^ minuto, un furgone oltre il 5^ minuto.

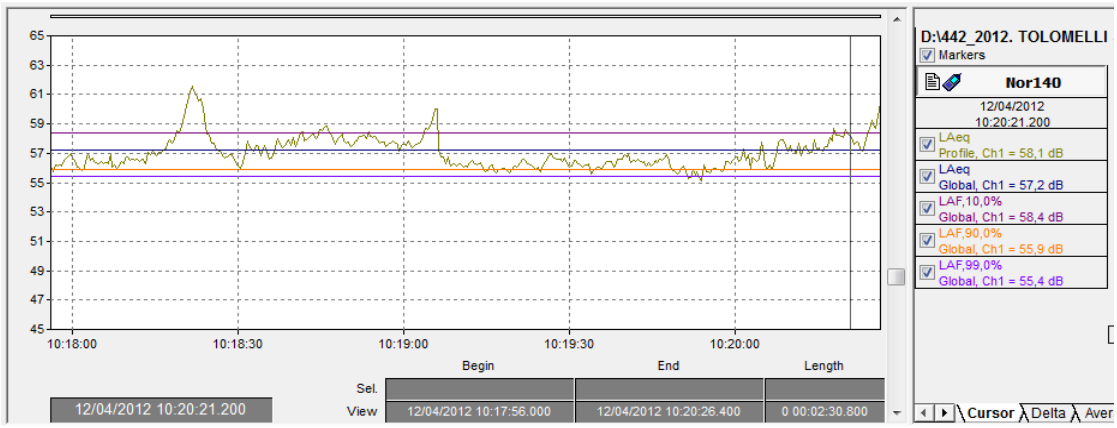


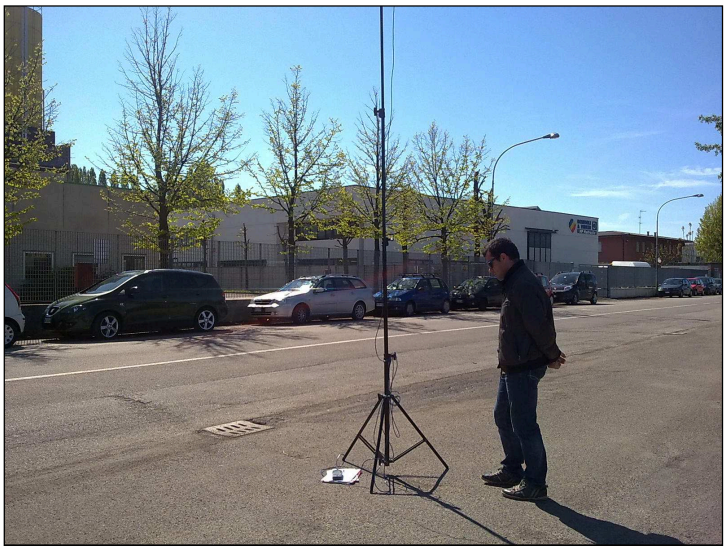
Postazione L: Leq = 57,2dBA; L10 = 58,4dBA; L90 = 55,9dBA; L99 = 55,4dBA

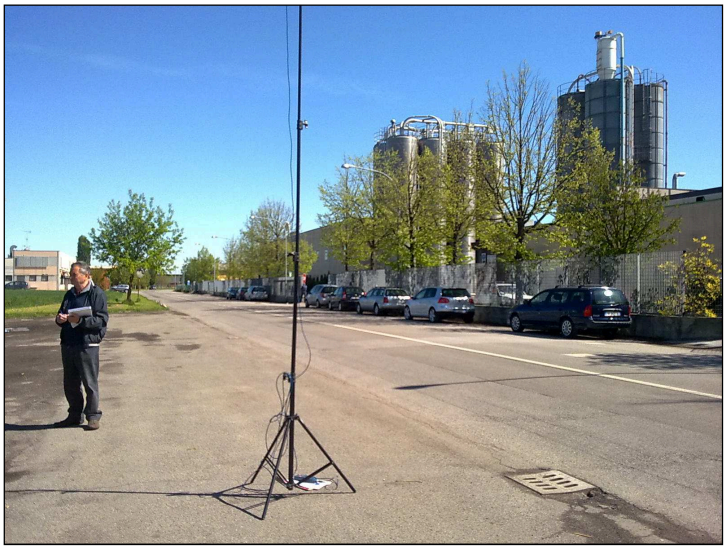
Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'azienda Politec, a margine via, lungo il parcheggio e altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, non si rilevano sorgenti dominanti su altre in esterno alla vicina Politec, ma solo la rumorosità diffusa generata dall'intera area produttiva nel complesso. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso: si registra, durante il TM, 1 solo transito veicolare (picco pre transito auto a 0'30''), mentre a fine misura l'innalzamento della curva del leq è determinato da un sorvolo.


65
63
61
59
57
55
53
51
49
47
45
10:18:00
10:18:30
10:19:00
10:19:30
10:20:00
Begin
End
Length
Sel.
View
12/04/2012 10:20:21.200
12/04/2012 10:17:56.000
12/04/2012 10:20:26.400
0 00:02:30.800
D:\442_2012. TOLOMELLI
Markers
Nor140
12/04/2012
10:20:21.200
LAeq
Profile, Ch1 = 58,1 dB
LAeq
Global, Ch1 = 57,2 dB
LAF,10,0%
Global, Ch1 = 58,4 dB
LAF,90,0%
Global, Ch1 = 55,9 dB
LAF,99,0%
Global, Ch1 = 55,4 dB
Cursor
Delta
Aver



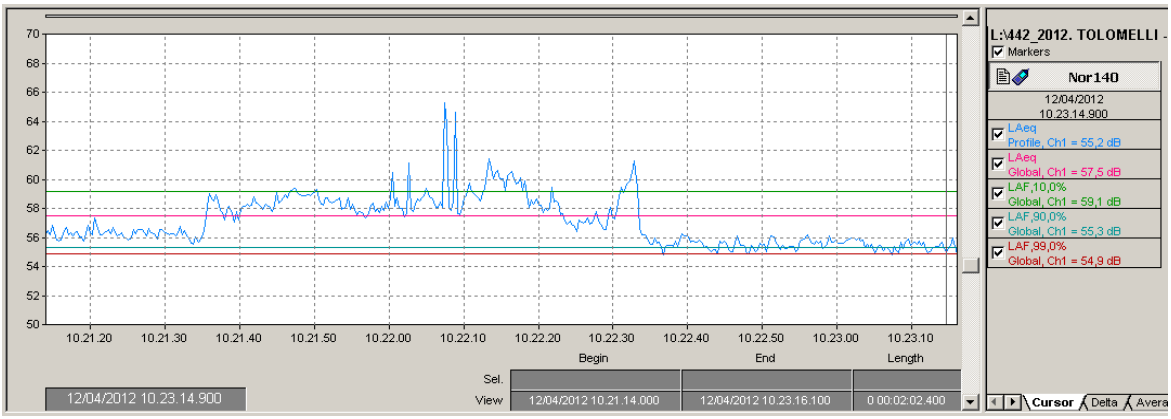


Postazione M: Leq = 57,5dBA; L10 = 59,1dBA; L90 = 55,3dBA; L99 = 54,9dBA

Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'azienda Politec, presso recinzione azienda, ad altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, non si rilevano sorgenti dominanti su altre in esterno alla vicina Politec, ma solo la rumorosità diffusa generata dall'intera area produttiva nel complesso. L'innalzamento della curva del leq durante il TM è determinato dal passaggio, internamente alla Politec, di un gruppo di persone che parlavano fra di loro e che hanno transitato di fronte al microfono. L'indotto aziendale può essere descritto dai 56dBA di emissione costante, rilevati prima e dopo il chiacchiericcio.



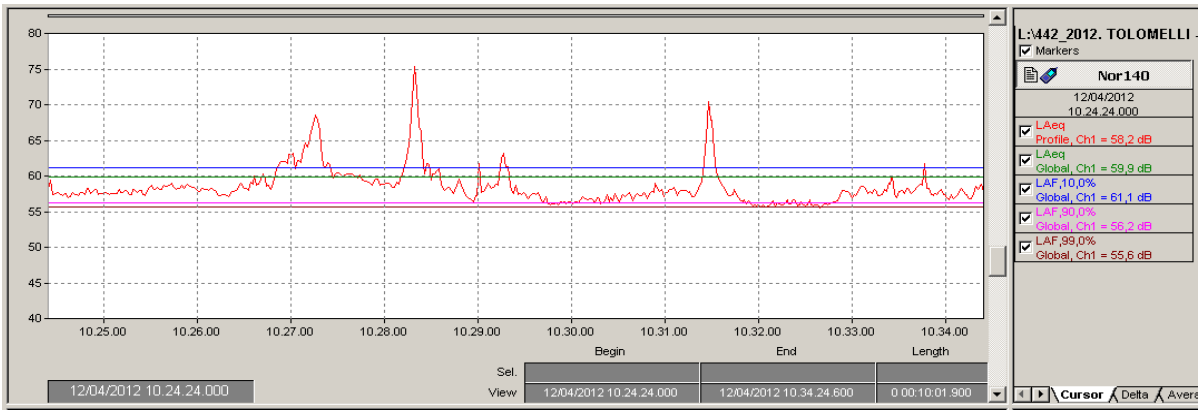


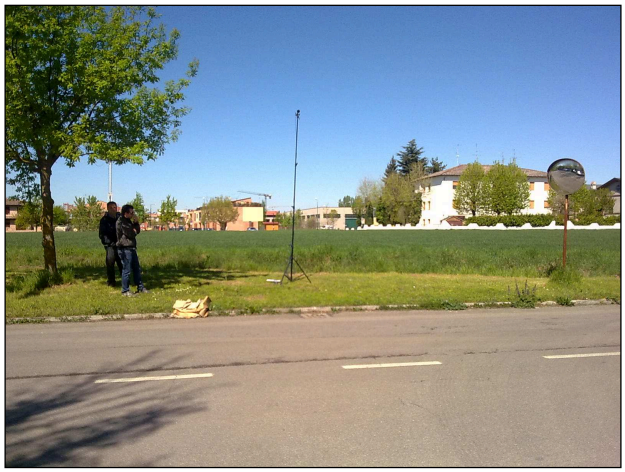
Postazione N: Leq = 59,9dBA; L10 = 61,1dBA; L90 = 56,2dBA; L99 = 55,6dBA

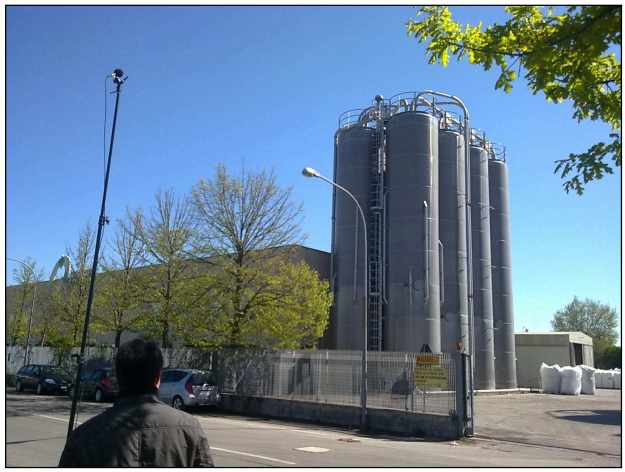
Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'accesso carrabile della Politec ed ai silos; altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. In particolare, dai silos della Politec si percepisce un'emissione aumentata rispetto al resto dell'azienda, proveniente dalla zona dei silos (probabile presenza di tramogge per lo scarico dei trucioli di gomma da portare a fusione), rumore che si interrompe al 5^ minuto, per poi riprendere all'8^. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso: si registrano, durante il TM, due transiti pesanti (2'40'' e 3'50'') e tre leggeri.





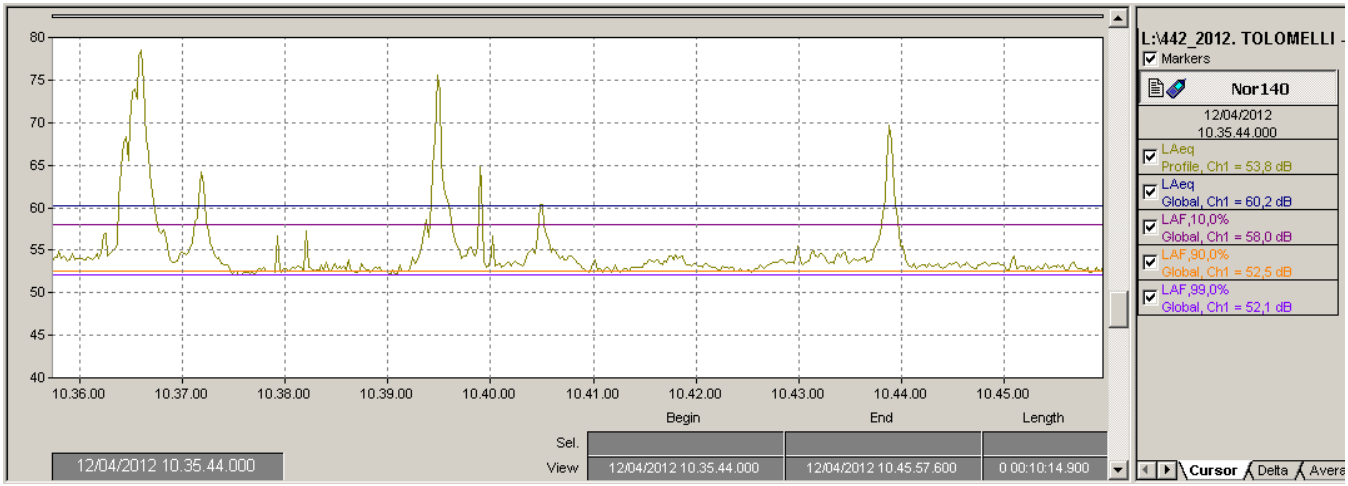


Postazione O: Leq = 60,2dBA; L10 = 58,0dBA; L90 = 52,5dBA; L99 = 52,1dBA

Note postazione: su via del Fosso, di fronte all'accesso carrabile della Politec ed ai silos, ma in allineamento alla precedente postazione F; altezza microfono 4m.

NB: l'orario reale di inizio misura è di 1 ora successivo.

Sorgenti dominanti: emissioni attività produttive e traffico su via del Fosso. Il contributo rumoroso delle attività/impianti presenti in zona silos e segnalata al precedente punto N è di minor significatività. I picchi presenti in registrazione grafica fanno capo ai transiti veicolari su via del Fosso, i quali portano alla determinazione del leq di postazione: si registrano, durante il TM, un transito pesante al primo minuto di misura, seguito da altri quattro leggeri.







APPENDICE: APPROFONDIMENTI D'ANALISI RICHIESTI DA PARTE DI ARPA; IN SEDE DI CONFERENZA DI PIANIFICAZIONE

La presente nota integrativa viene redatta a risposta delle osservazioni pervenute da parte di ARPA, in sede di istruttoria in Conferenza dei Servizi, come sotto meglio esplicitato.

arpa
agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'emilia-romagna

Sezione Provinciale di Bologna
Via F. Rocchi, 19 - Via Triachini, 17
40138 Bologna
Tel. 051 396211
Fax 051 342642
PEC: aoobo@cert.arpa.emr.it
e-mail: urpbo@arpa.emr.it

fasc.2014/XXXI.001/15
prot.PGBO/2014/

Comune di Pieve di Cento
P.zza Andrea Costa, 17
40066 Pieve di Cento (BO)

Bologna, 20/2/2014

Oggetto: Richiesta integrazioni ai fini del contributo Arpa sul documento preliminare della variante n.1/2014 al PSC del Comune di Pieve di Cento approvato con del. giunta com. n.11 del 27/1/2014.

Ad integrazione di quanto già richiesto durante la seduta della conferenza di pianificazione del 19/2/2014, dopo aver consultato il tecnico esperto in acustica, sono emersi alcuni elementi che si chiede di integrare nella documentazione previsionale di clima acustico.

1. Si chiede di inserire, nello scenario di progetto, le emissioni acustiche generate dal nuovo asse stradale previsto lungo il sedime dell'odierna via del Fosso, che avrà presumibilmente un carico di traffico diverso da quello attuale,
2. Si chiede di effettuare un'analisi del rispetto dei limiti normativi anche per le residenze di cui si parla a pag. 10 "*alle residenze esistenti adiacenti alla futura area di espansione (lotti AUC-C), ragionando per omogeneità d'uso del territorio, l'assegnazione alla III classe, invece della V classe attuale, non trattandosi più, nello scenario futuro, di residenze intercluse ad un tessuto prevalentemente produttivo, quanto piuttosto del completamento di una UTO residenziale globalmente assegnata alla III classe*" tenendo conto della nuova classe acustica di progetto.

Restando a disposizione per qualsiasi chiarimento si porgono cordiali saluti.

Il tecnico referente
Samantha Arda

Responsabile del Servizio Sistemi Ambientali
Silvana Pieromaldi

Sede legale: Via Po, 5 - 40139 Bologna - Tel 051 6223811 Fax 051 543255 - P.IVA e C.F. 04290860370 e-mail: dir@arpa.emr.it

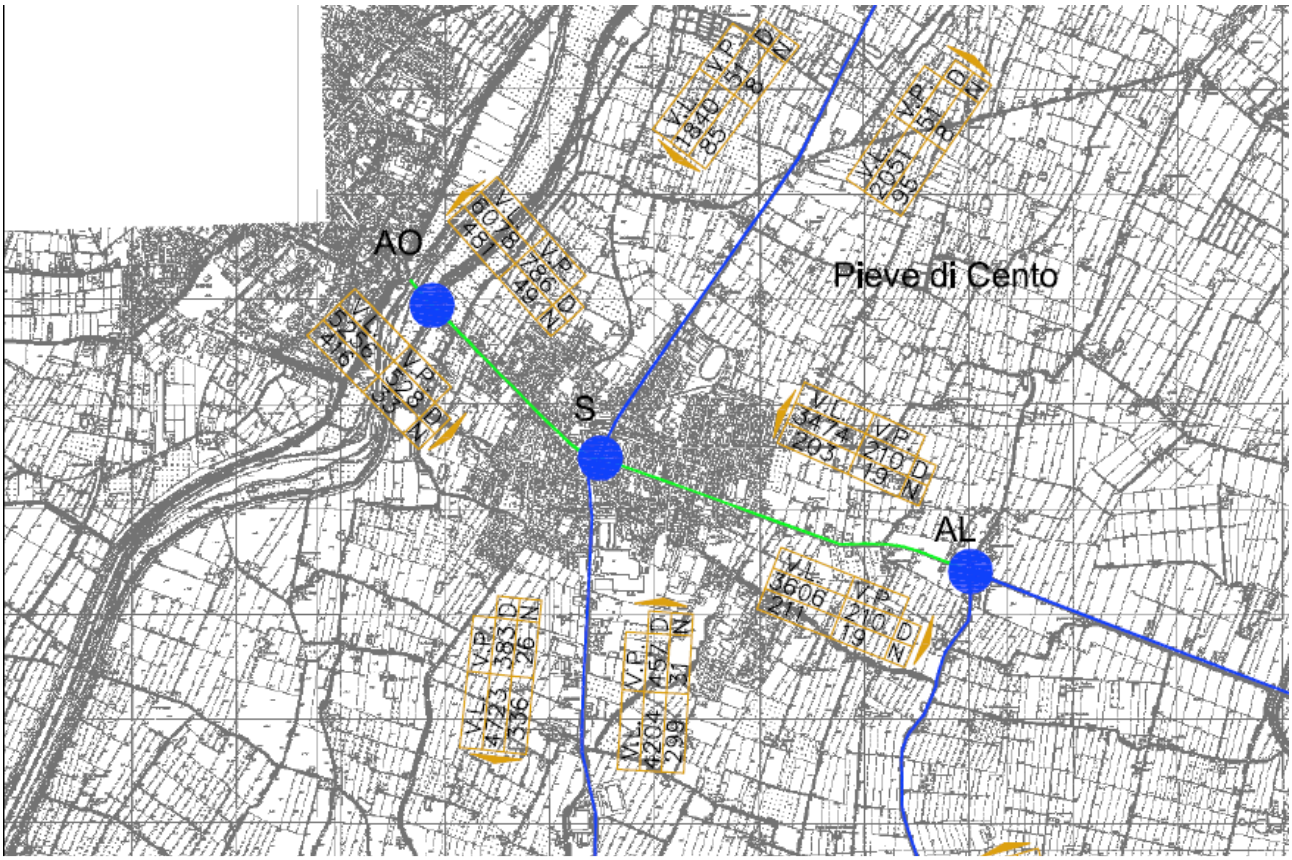
La prima richiesta riguarda l'inserimento in modello della nuova viabilità prevista sul sedime di via del Fosso. A questo proposito occorre determinare quale possa essere in carico viario atteso su tale asse, una volta assestatosi il panorama infrastrutturale di progetto previsto per il lungo periodo ed a questo proposito, prima di procedere nella modellazione acustica di detto asse, prendiamo atto di quanto riportato dalle fonti conoscitive ad oggi disponibili su tale tema:

- QC e Valsat di PSC;
- Pianificaizone provinciale.

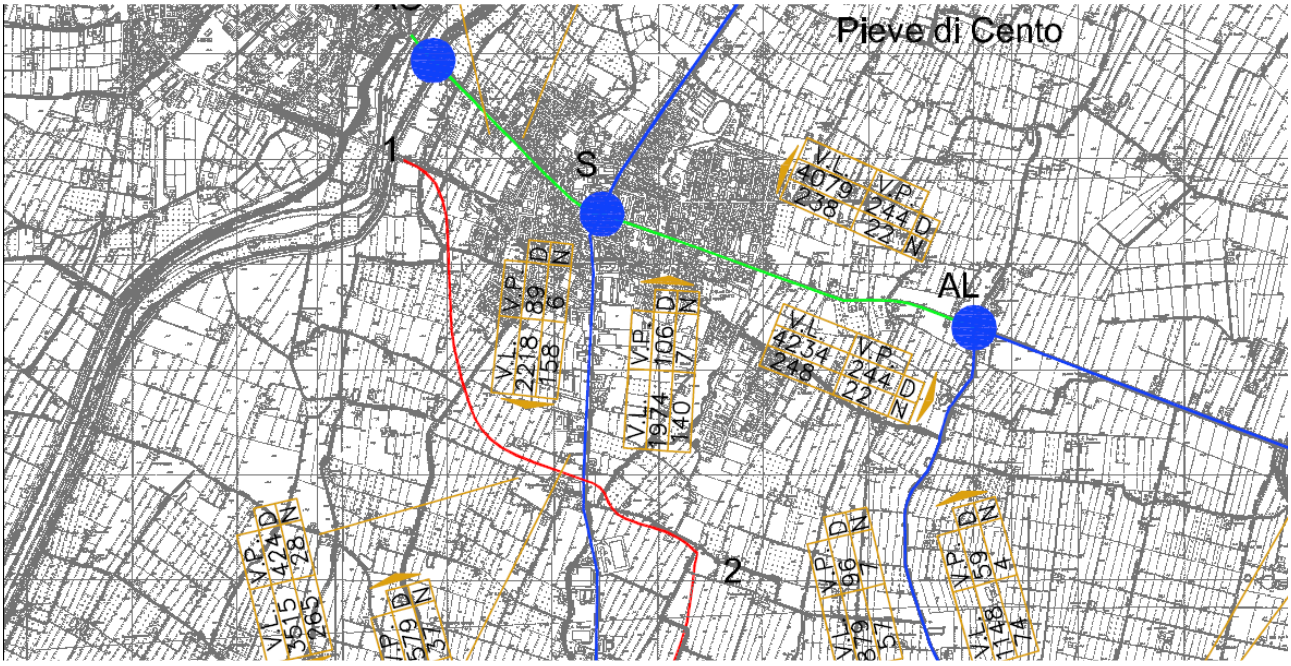
Vediamo quindi nel dettaglio quali siano gli elementi disponibili (fonte: QC – All.11):

- Flussi di traffico sugli archi al 2006 (data di stesura del piano);
- Flussi di traffico in proiezione al 2015 (non viene ancora indicata la nuova via del Fosso);
- Flussi di traffico in proiezione al 2020 (si inserisce in mappa la nuova via del Fosso);
- Simulazioni acustiche agli stessi orizzonti temporali.

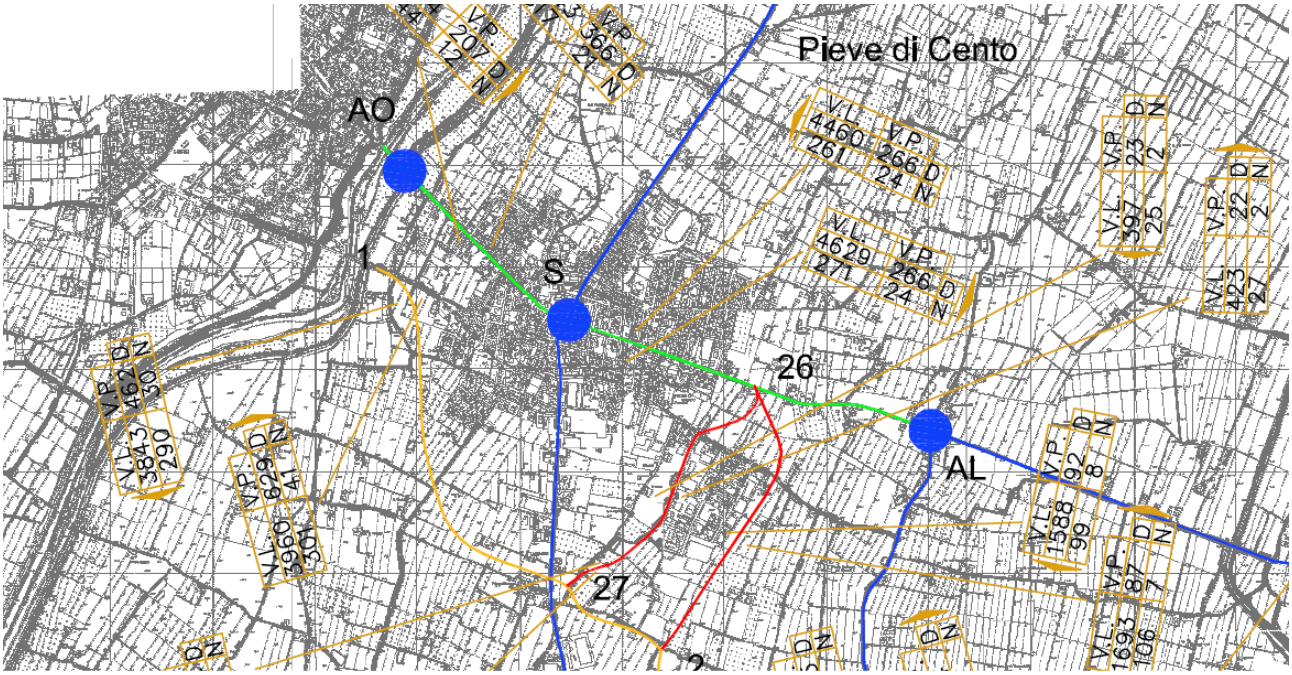
Vediamo quindi quali carichi viari venissero assegnati alla rete, in riferimento ai tre scenari temporali indicati:



<u>Anno 2006</u>



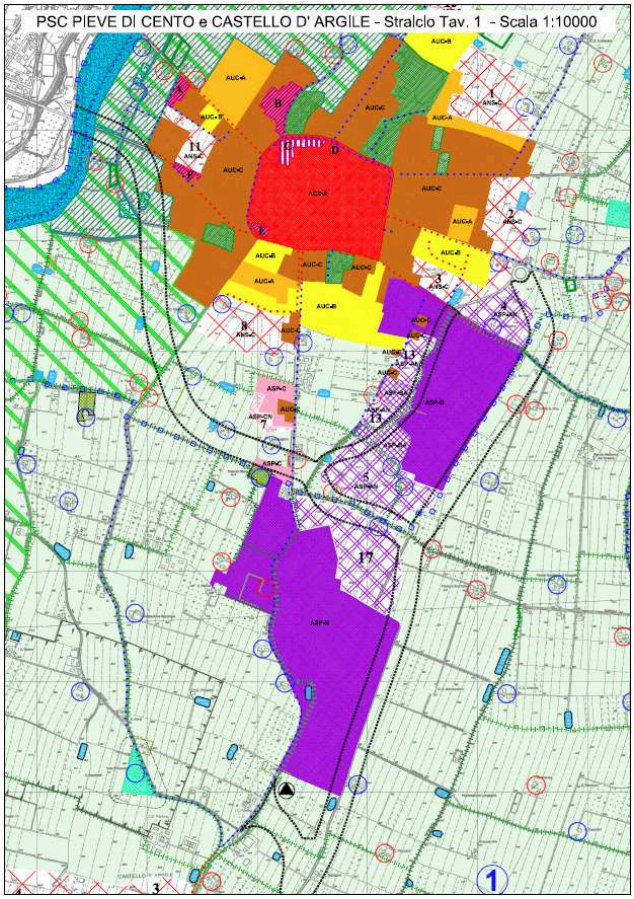
Anno 2015

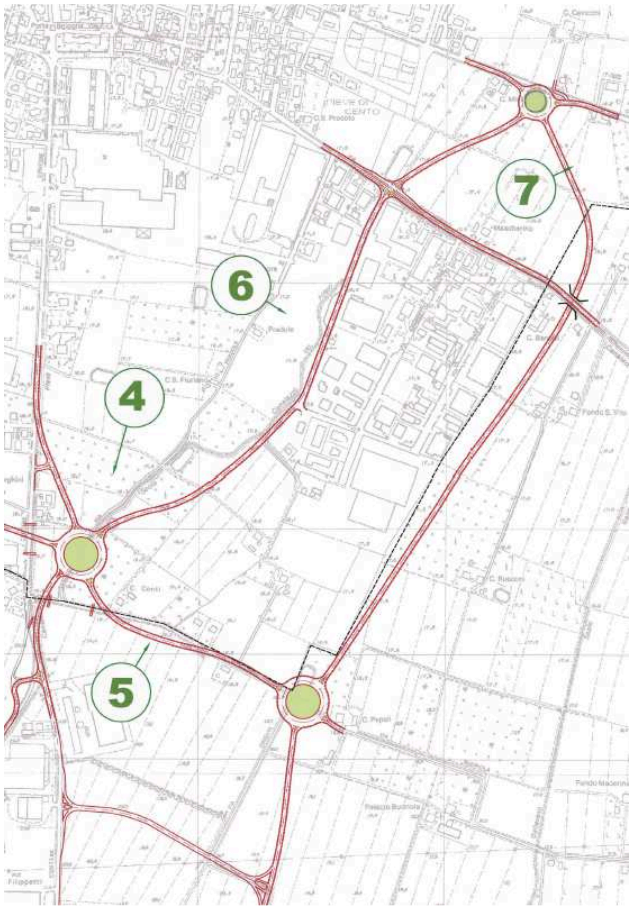


Anno 2020

Via del Fosso viene inserita come previsione infrastrutturale solo in riferimento al lungo periodo e cioè nello scenario 2020, quando appare come già realizzato il by-pass sud ovest dell'abitato di Pieve di Cento e dove, per l'appunto, la nuova via del Fosso parrebbe apparire come il completamento verso est della circonvallazione sud dell'abitato.

In realtà, in affiancamento alla nuova via del Fosso si prevede anche un'ulteriore bretella più ad est della zona produttiva che insiste su tale asse, a completamento della rete viaria provinciale ed interessante i comuni sia di Pieve che di Castello d'Argile, come meglio esemplificato graficamente nel seguito.



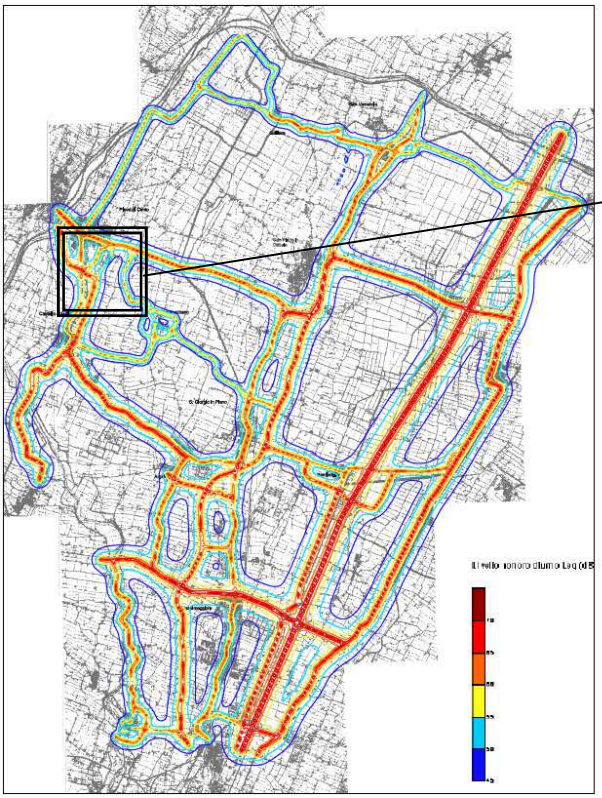


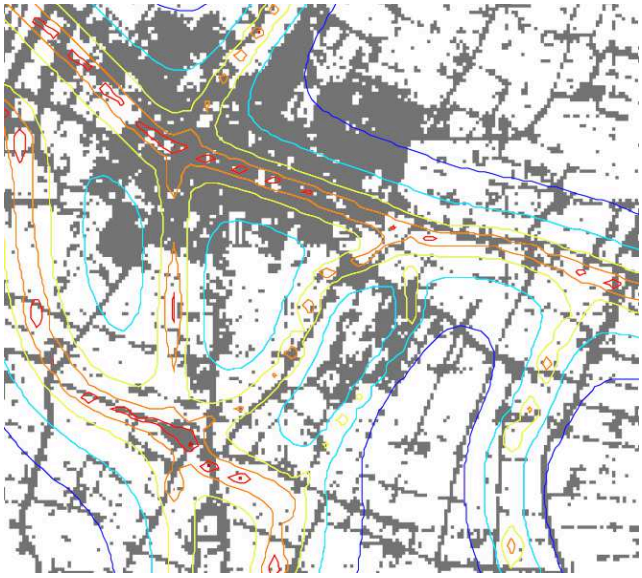
Questi elementi ci portano quindi a considerare che mentre la bretella più esterna verrebbe ad assumere il ruolo di una viabilità dedicata al traffico di attraversamento, la via del Fosso, pur razionalizzata e meglio interconnessa con la rete esterna, continuerebbe a svolgere la funzione di asse di accesso all'area produttiva, come già oggi accade.

E a questo proposto, vediamo infatti che anche i carichi viari assegnati in sede di Valsat di PSC sono coerenti con tale lettura della rete:

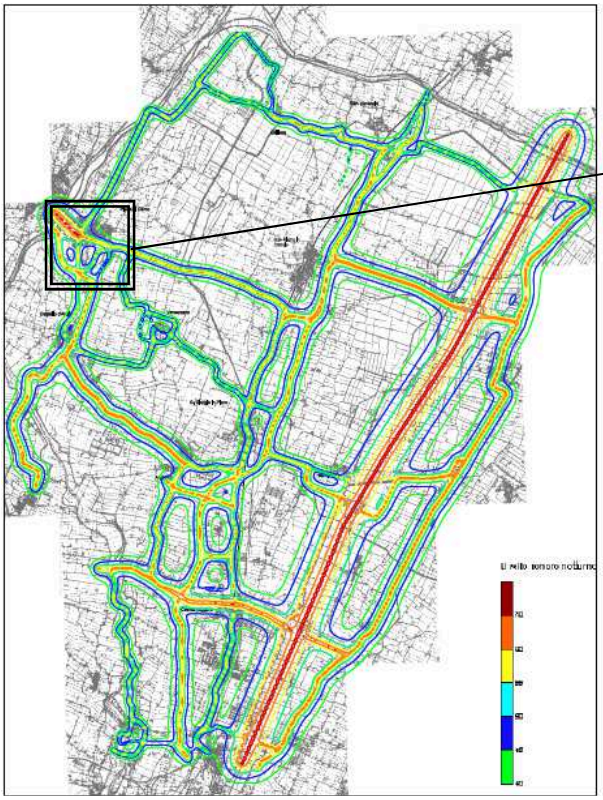
- Traffico atteso sulla nuova bretella est (arco (7) in figura) al 2020: 1.693 v.l. e 87 v.p. in periodo diurno, rispettivamente 106 e 7 nel notturno, in direzione nord; 1.588 v.l. e 92 v.p. in periodo diurno, rispettivamente 99 e 8 nel notturno, in direzione sud;
- Traffico atteso sulla nuova via del Fosso (arco (6) in figura) al 2020: 423 v.l. e 22 v.p. in periodo diurno, rispettivamente 27 e 2 nel notturno, in direzione nord; 397 v.l. e 23 v.p. in periodo diurno, rispettivamente 25 e 2 nel notturno, in direzione sud.

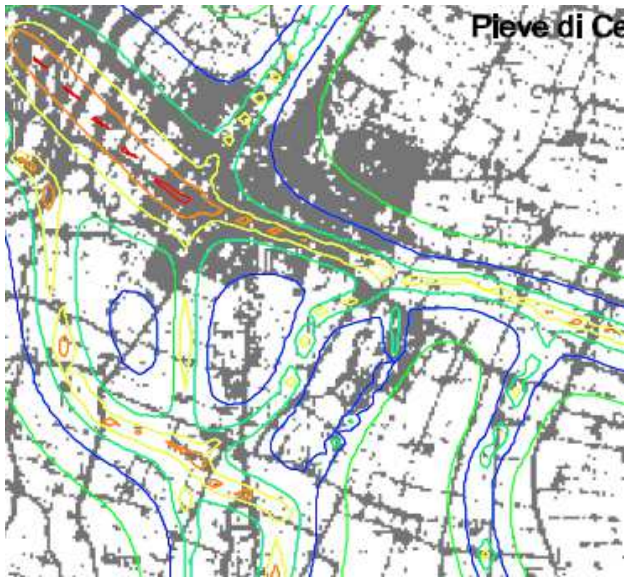
LA stessa Valsat di PSC propone anche delle simulazioni di macroscala per quanto riguarda l'impatto acustico della rete viaria sul territorio: vediamo dunque il dettaglio di tale elaborato, sull'area qui di interesse, in proiezione al 2020, quando compare la nuova via del Fosso.





MAPPA LIVELLI ACUSTICI DIURNI





MAPPA LIVELLI ACUSTICI NOTTURNI

Si tratta, come già detto, di mappe di macroscala, di scarsa significatività ai fini delle presenti verifiche, dove al contrario si opererà, andando ad assegnare a via del Fosso i volumi di traffico futuri, così come indicati in Valsat di PSC, per poi aggiornare le verifiche acustiche già presentate.

Si opererà quindi nuovamente mediante modello previsionale IMMI.

In sede di riverifica si valuterà poi, in risposta al secondo punto del quesito ARPA, i livelli di esposizione attesi sia presso le residenze di progetto, sia presso i recettori esistenti in sito, per i quali si propone una riclassificazione da V a III classe acustica.

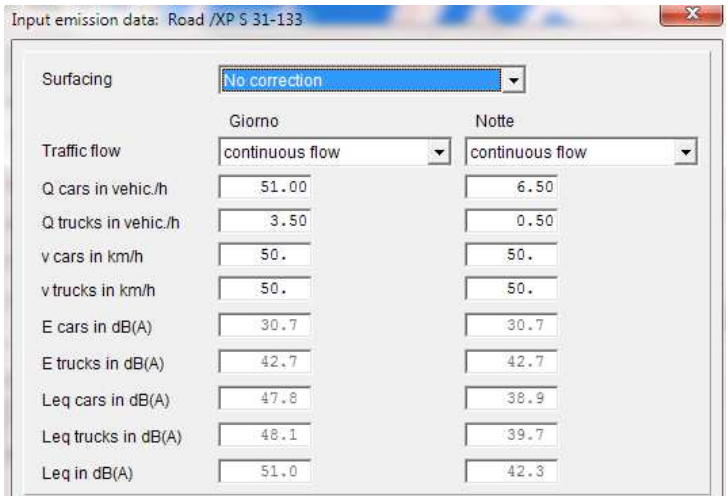
A titolo di sommario confronto fra quanto imputato inizialmente in modello e quello di cui si terrà conto per lo scenario di proiezione di lungo periodo, rammentiamo quali fosse i volumi di traffico registrati oggi sulla via del Fosso, in sede di rilevazione acustica a campione all'interno di una fascia oraria di morbida del mattino: 23 v.l. e 4 v.p.

Le previsioni viarie stimano un complessivo di 820 v.l. e 55 v.p. nel diurno (51 v.l. e 3,5 v.p. nell'ora media di periodo); 52 e 4 nel notturno (6,5 e 0,5 nell'ora media).

In realtà, anche questo sommario confronto fornisce un'indicazione del fatto che su via del Fosso non sono attese modifiche sostanziali in quanto ai volumi di traffico già oggi circolanti.

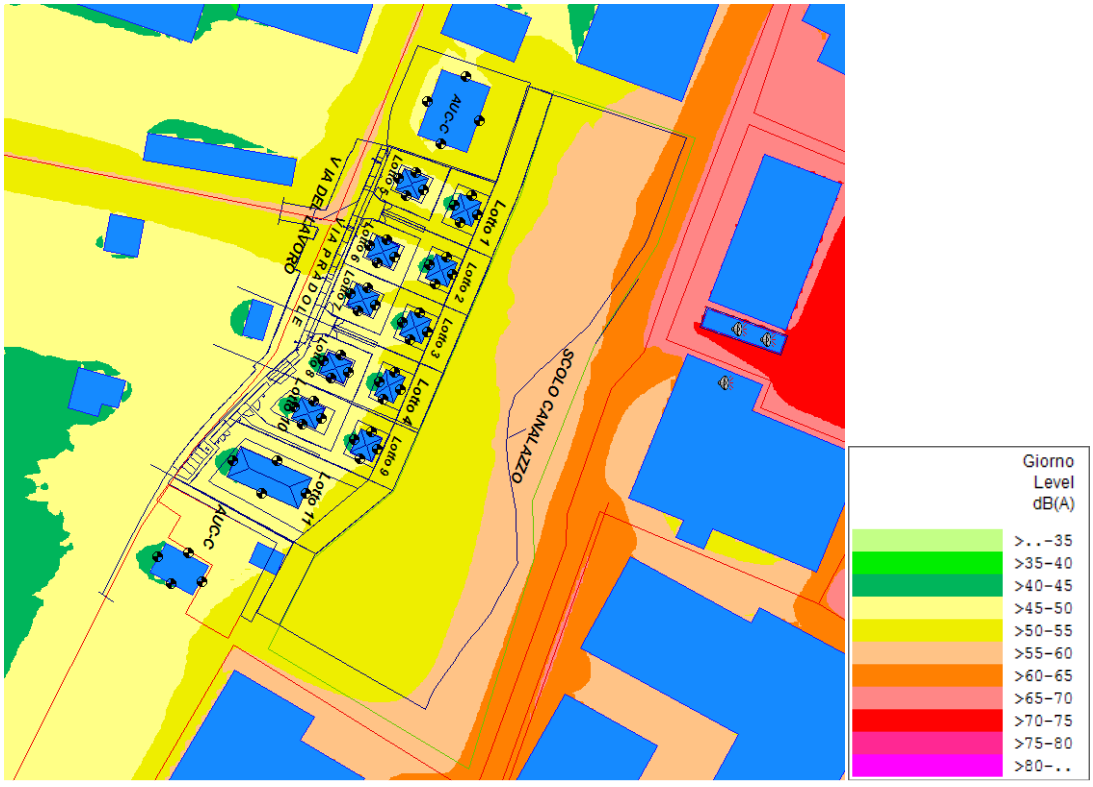
Se consideriamo infatti che i conteggi effettuati oggi fanno capo a un'ora di morbida del mattino, in cui si registra unicamente il traffico occasionale e dei fornitori, ma non quello di punta di accesso al lavoro degli addetti (costituisce la dominante dei transiti leggeri che caratterizza l'ora media diurna), oltre a vedere come il numero dei transiti pesanti è di fatto lo stesso oggi rispetto a quello stimato per il 2020, vediamo confermata la lettura iniziale secondo cui la risistemazione e razionalizzazione di via del Fosso non comporterà una modifica funzionale alla stessa; via del Fosso continuerà quindi a mantenere l'odierno ruolo funzionale, servendo come via di accesso all'area produttiva e non come asse viario deputato ai traffici di attraversamento, ruolo invece assunto dalla nuova viabilità più ad est.

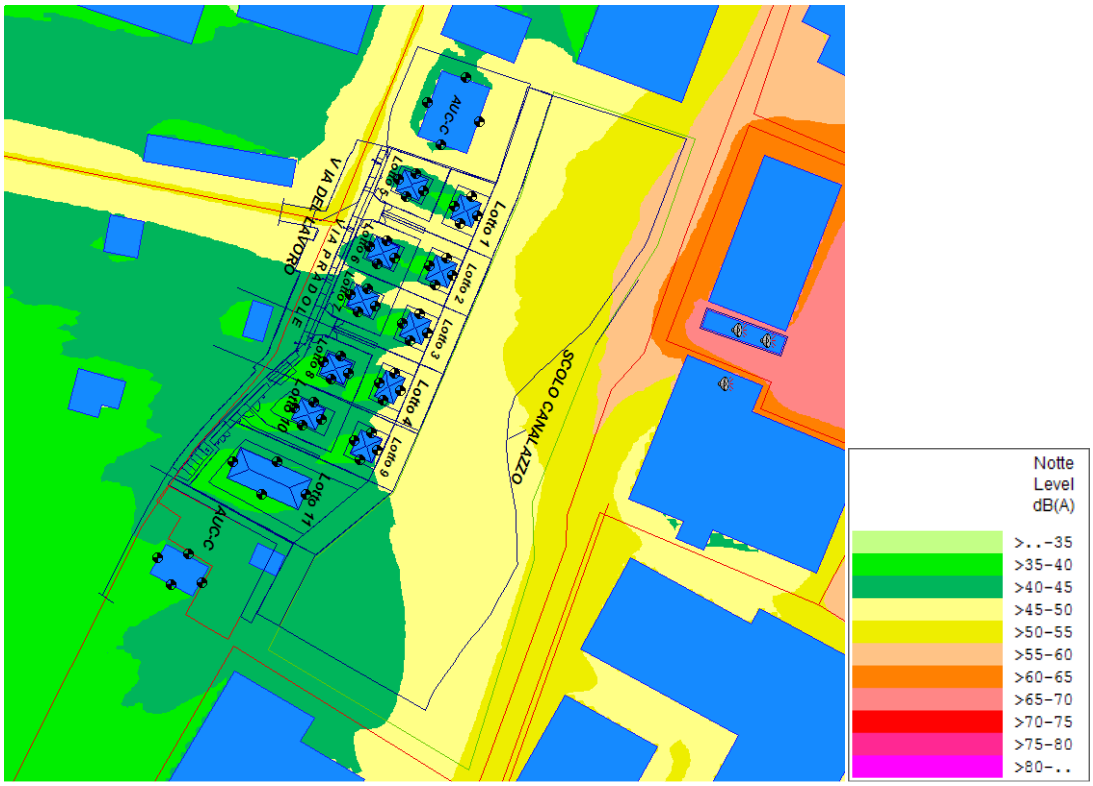
L'input al modello di calcolo viene realizzando assegnando i volumi di traffico sopra indicati, seguendo l'algoritmo di calcolo per la definizione del traffico stradale XP S 31-133, come suggerito dal D.Lgs. 19 agosto 2005, n.194 "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale", come di seguito rappresentato:



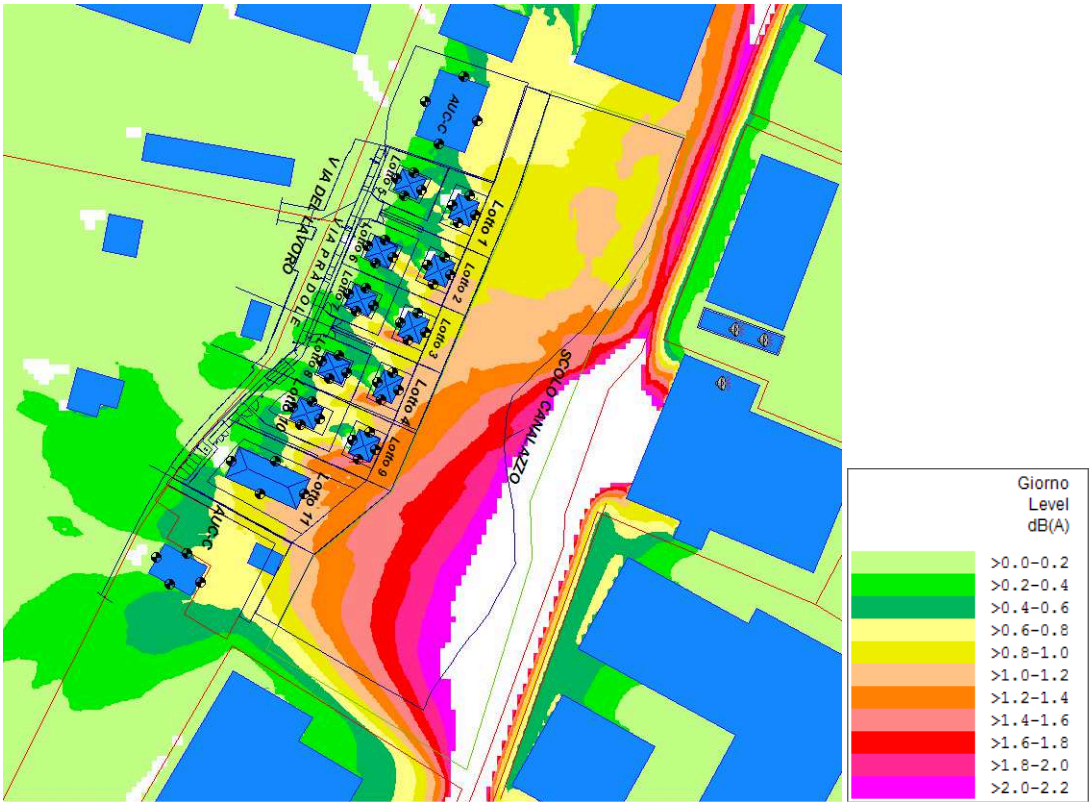
In seno al modello previsionale si è cioè sostituito l'asse di via del Fosso per come caratterizzato inizialmente sulla base delle rilevazioni acustiche effettuate e quindi della taratura del modello medesimo

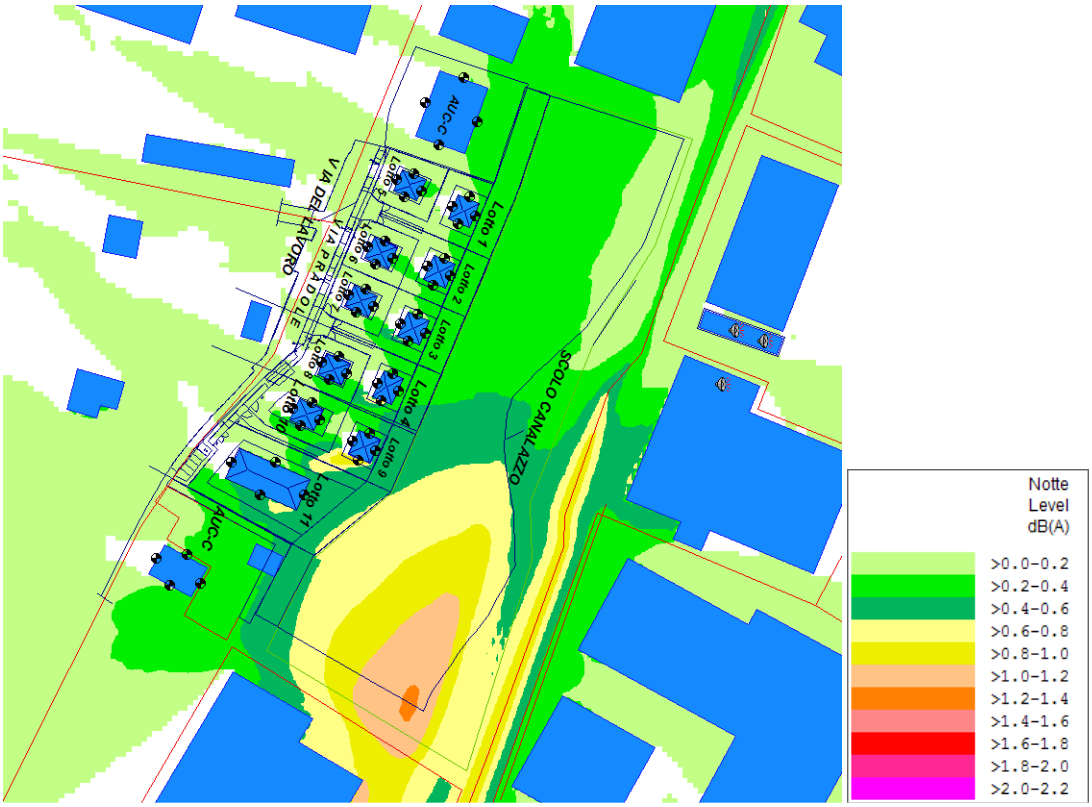
sulla base dei dati fonometrici, con questa nuova sorgente emissiva, caratterizzata sulla base dei flussi attesi al 2020. Vediamo dunque quale sia l'esito delle nuove simulazioni.





A verifica di quanto incida l'emissione della "nuova via del Fosso", scenario a lungo termine, rispetto alla via del Fosso caratterizzata secondo il traffico attuale, vediamo una mappatura dei delta: rappresenta il delta di livello atteso fra scenario di progetto 2020 e scenario attuale con già inseriti i volumi edificati di progetto.





L'incidenza dei delta appare maggiormente significativa sulla porzione sud dell'asse, ove è meno rilevante l'emissione di natura produttiva, ma in ogni caso, nonostante i carichi viari futuri portino a un aumento delle emissioni lungo l'intero fronte di via del Fosso, appare evidente dalla lettura delle mappe di simulazione aggiornate, come si continui a mantenere una condizione di pieno e totale rispetto normativo in riferimento ai limiti di legge per la classe III.

I delta in aumento si stimano pari, al massimo, a 1,2-1,4dBA in periodo diurno (livello riferito ai futuri recettori di progetto) e a 0,4-0,6dBA nel notturno.

I livelli attesi presso i bersagli di progetto sono poi in assoluto inferiori a 55dBA nel diurno e a 50dBA nel notturno, a conferma dunque del pieno e totale rispetto normativo, così da poter ribadire le conclusioni già viste nella precedente relazione acustica previsionale:

"…

*d) **appare evidente il pieno rispetto normativo dei limiti assoluti di III classe**, avendo registrato i seguenti valori massimi di esposizione a rumore, nei due periodi di riferimento:*

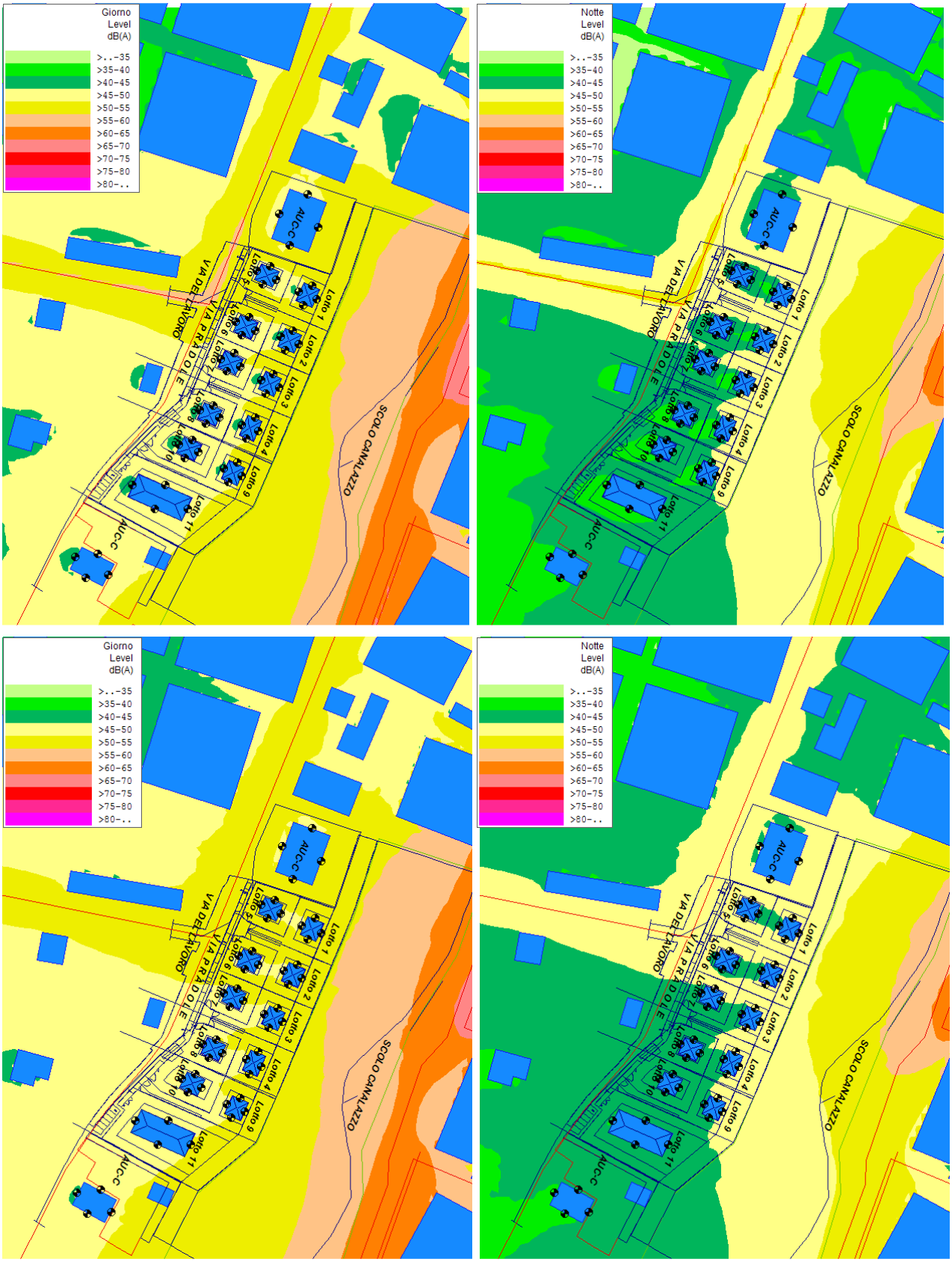
- *Leq massimo di impatto in periodo diurno, registrato sul fronte sud-est del lotto 1, al primo piano, pari a 52,1dBA;*
- *Leq massimo di impatto in periodo notturno, registrato sul fronte sud-est del lotto 1, al primo piano, pari a 47,4dBA.*

..."

Con il parere ARPA si chiedeva poi di verificare i **livelli di esposizione anche presso i recettori esistenti** che passano dall'attuale V classe alla futura III, per effetto della variante urbanistica:



Premesso che i due edifici adiacenti alla futura lottizzazione erano già stati verificati puntualmente attraverso il precedente studio acustico, rilevando una condizione di pieno e totale rispetto normativo, anche in questo caso riconfermata, vediamo comunque una zoomata delle simulazioni effettuate a riprova del fatto che, anche a fronte degli aumenti di carico su via del Fosso, tale situazione di **pieno rispetto normativo anche verso i recettori esistenti** resta invariata.



Coppia immagini in alto: mappatura al livello dei primi piani; in basso, ai secondi piani.

GEO-PROBE

– Studio Geologico Associato –

2013.109/RG

Comune di Pieve di Cento (BO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN VIA PRADOLE, PER LA QUALE SI RICHIEDE UNA VARIANTE AL PSC – AMBITO ANS-C14.

Novembre 2013

ERRATA CORRIGE:
L'AMBITO ANS-C14 è da intendersi come AMBITO AUC-C



Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

INDICE

1. PREMESSA 1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE 4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA 5
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI 8
6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO 9
7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE 10
8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA 13
9. MODELLAZIONE SISMICA 15
9.1. Vita nominale 15
9.2. Classi d'uso 15
9.3. Periodo di riferimento 16
9.4. Azione sismica 16
9.5. Categoria di sottosuolo 17
9.6. Condizioni topografiche 18
9.7. Amplificazione stratigrafica 19
9.8. Accelerazione massima al sito 19
9.9. Coefficiente sismico orizzontale e verticale 19
10. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI 21
11. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 24
11.1. Selezione del moto di riferimento 24
11.2. Elaborazione del modello sismico 26
11.3. Elaborazione dell'amplificazione 29
12. RESISTENZA DI PROGETTO DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE .. 34
13. CONSIDERAZIONI FINALI 41

ALLEGATI:

- *diagrammi penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono;*
- *stratigrafia trivellazione a secco;*
- *diagrammi prove di dissipazione.*
- *indagine sismica;*
- *verifica rischio liquefazione dei terreni.*

* * *

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Sig.ra Alberghini Berta si trasmette, in conformità con le vigenti normative, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area per la quale si richiede una variante al PSC.

L'area in esame si ubica in via Pradole, in Comune di Pieve di Cento (BO), nel Comune omonimo (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 202082 – Pieve di Cento) e interessa l'ambito ANS-C14.

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;

b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;

c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;

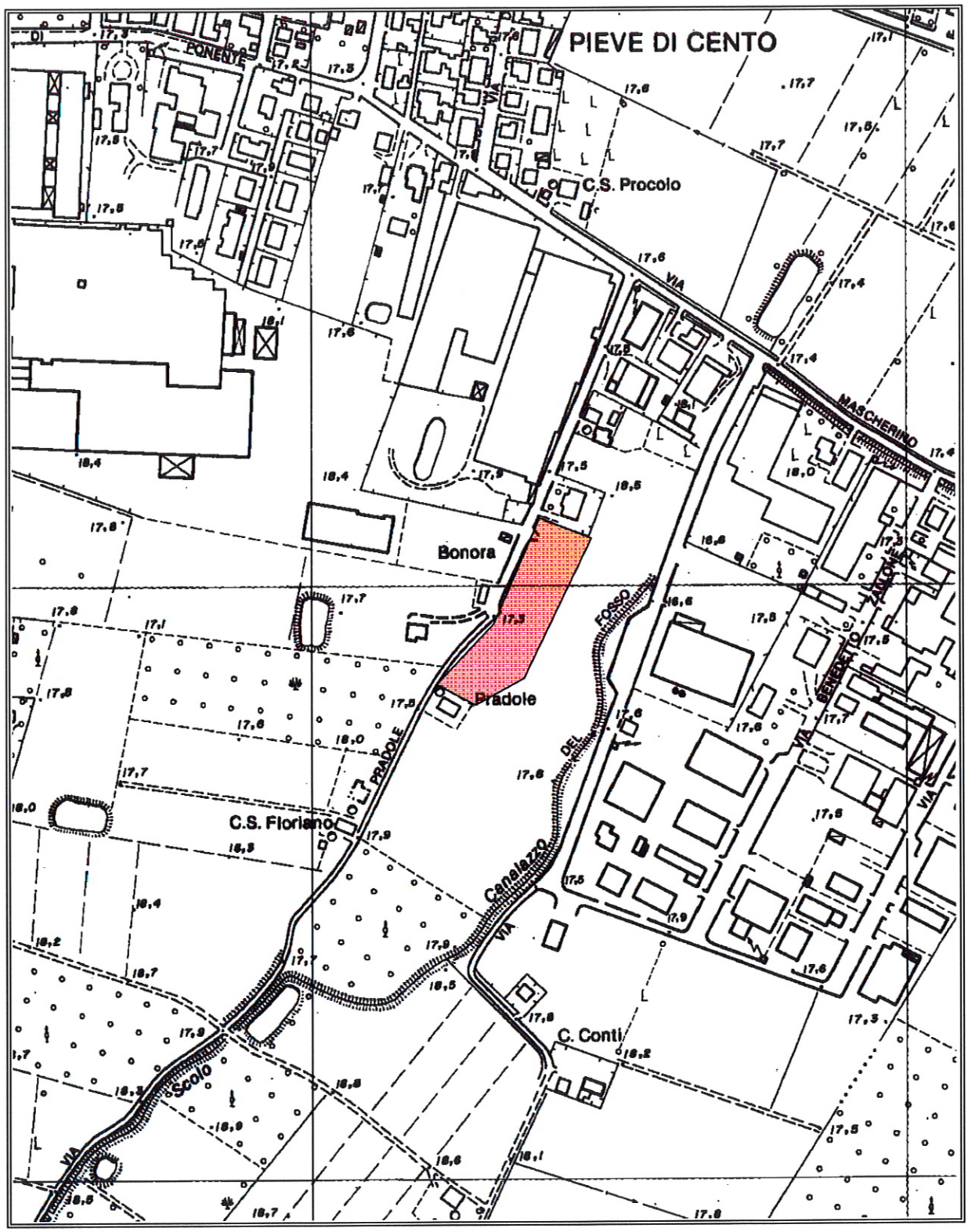
d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;

e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;

f) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.

☞

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Scala 1:5.000

Area in esame

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "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". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "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". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica". O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive modifiche.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame ricade in un settore deposizionale della bassa Pianura Padana caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 17,00 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o di bassissima acclività.

La morfologia superficiale risente sia del costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo, sia della presenza del Fiume Reno che in fase di tracimazione e di sedimentazione ha depositato lenti alluvionali che si interdigitano tra di loro conferendo alla zona un andamento leggermente ondulato; a questi fattori si sono aggiunti interventi edificatori, a carattere prevalentemente civile abitazione e industriale nella prima periferia del centro di Pieve di Cento, che hanno in parte mascherato la morfologia originaria.

Dal punto di vista geo-litologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di formazioni continentali di deposizione fluviale costituite da sedimenti alluvionali fini (limi e limi sabbiosi) mentre i sedimenti grossolani (ghiaie) sono pressoché assenti; pertanto la litologia principale è rappresentata da depositi a matrice limo - argillosa di permeabilità bassa (10^{-6}÷10^{-8} m/sec).

L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Fiume Reno che sviluppa il proprio corso a Ovest della zona in esame, ad una distanza di circa 500,00 m, mentre quella secondaria da piccoli canali e fossi di scolo (Scolo Canalazzo del Fosso) che in prossimità del centro abitato vengono incanalati e deviati.

L'acquifero è da considerarsi a livelli multipli con un primo livello superficiale in cui le falde si alimentano per dispersione da subalveo dei corsi d'acqua e per infiltrazione delle precipitazioni meteoriche e un secondo livello confinato nel quale le acque sono in parte fossili e caratterizzate da un ricambio molto lento.

L'andamento della prima falda superficiale, come evidenziato da indagini eseguite in aree limitrofe, si attesta generalmente ad una profondità media di 2,00÷3,00 m dal p.c. attuale, soggetta ad oscillazioni stagionali.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, si è provveduto ad eseguire un'indagine in sito e una indagine sismica locale al fine di determinare il parametro V_{S30} per poi classificare il suolo di fondazione.

4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l, è consistita nell'esecuzione di n. 3 penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU) della lunghezza di 20,00 m e di n. 1 sondaggio con il metodo della trivellazione a secco della lunghezza di 4,00 m

I punti di indagine sono stati distribuiti per essere rappresentativi dell'area in esame; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 2.

Per l'esecuzione delle prove con punta elettrica e piezocono è stato utilizzato un penetrometro statico montato su Unimog Mercedes 400L con cella di carico da 200 kN, che impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm^2 per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm^2 per la misurazione dell'attrito laterale locale.

In aggiunta alla suddetta strumentazione si utilizza un filtro poroso situato immediatamente sopra alla estensione presente sulla punta conica, che permette di misurare la pressione dell'acqua interstiziale (pp) durante l'avanzamento.

Poiché tale pressione è legata al tipo di terreno e alla sua consistenza, il valore misurato permette di ottenere una descrizione dettagliata del profilo stratigrafico e, se combinato con la resistenza alla penetrazione misurata alla punta, anche un indice della storia tensionale del deposito.

I risultati della penetrometria statica con punta elettrica e piezocono vengono rappresentati in forma diagrammatica nella apposita tavola allegata, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta) il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, il rapporto Rf (rapporto fra la resistenza laterale locale e la resistenza alla punta, espresso in %), che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati, la pressione interstiziale dei pori (pp), espressa in kPa, la velocità di avanzamento (F) e l'angolazione della strumentazione (Tilt) nel corso dell'avanzamento riferita alla verticale.

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 1,0 cm.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Nel corso delle prove penetrometriche con piezocono, sono state eseguite prove di dissipazione (*Dissapation test*) per la misura della variazione nel tempo della pressione dell'acqua nei pori (U), alle date profondità.

La prova di dissipazione viene eseguita misurando la velocità con cui avviene la dissipazione della pressione dei pori in eccesso fino a una certa percentuale del valore di equilibrio, che di solito coincide con il valore della pressione idrostatica agente alla profondità del trasduttore.

Mediante l'interpretazione della curva di dissipazione in cui sono riportati, in un grafico semi logaritmico, il tempo espresso in secondi e la pressione dei pori espressa in MPa, è possibile ricavare il coefficiente di consolidazione, che a sua volta dipende dalla compressibilità e dalla permeabilità del terreno, e il coefficiente di permeabilità.

Generalmente la prova viene arrestata dopo avere raggiunto una percentuale stabilita di dissipazione (60-80%) dell'eccesso della pressione dei pori, altre volte la dissipazione viene spinta fino a raggiungere l'equilibrio, ottenendo importanti informazioni sugli aspetti idrogeologici del deposito.

Complessivamente sono state eseguite n. 5 prove di dissipazione; i risultati delle stesse in forma diagrammatica, vengono riportati in allegato negli appositi moduli.

La trivellazione a secco è stata eseguita mediante aste elicoidali del diametro di 120 mm mosse da propulsore idraulico posto sull'autocarro Mercedes.

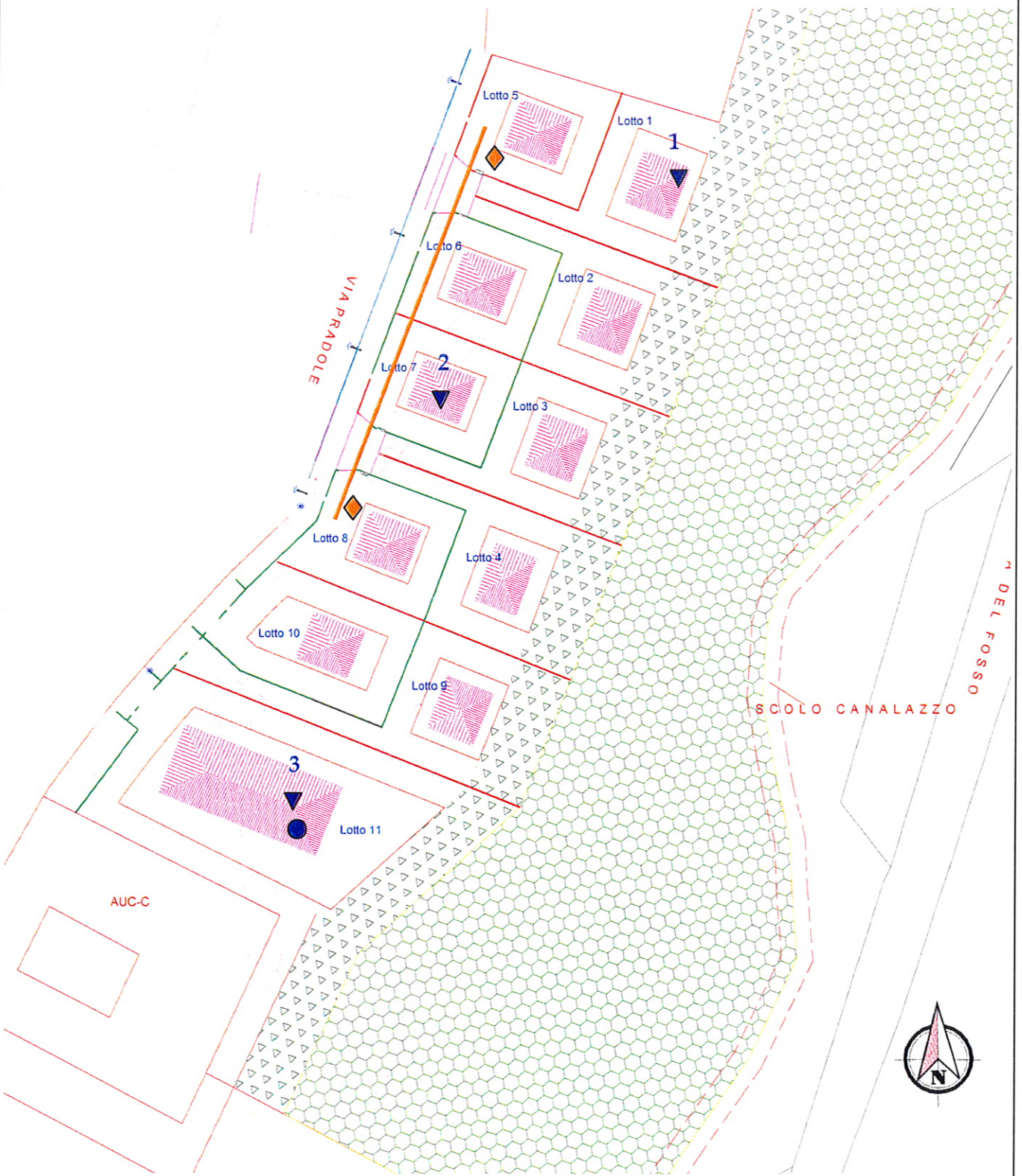
La stratigrafia della trivellazione a secco viene riportata in allegato nell'apposito modulo

4.2. Indagine sismica

Al fine di determinare il parametro Vs30, necessario a classificare il suolo di fondazione del sito, vengono utilizzati i risultati di una indagine sismica locale eseguita dal Dr. Mirko Sita; la metodologia di indagine e l'elaborazione dei dati ottenuti viene riportata nell'apposita relazione allegata.

☞

TAV. 2 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



▼ Penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono

● Trivellazione a secco

◆/ Indagine sismica

Scala 1:1.000

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto, dello spessore medio di 0,40÷0,80 m, sono inizialmente presenti dei limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di colore marrone, di consistenza da plastica a plastico dura (q_c = 0,9÷2,5 MPa; Rf = 2,1÷6,0 %) ed umidità scarsa.

A partire da una profondità media di 1,20÷2,00 m, e sino a circa 2,40÷2,80 m si evidenziano delle sabbie variabilmente limose di colore nocciola ed addensamento da scarso a medio (q_c = 1,5÷3,7 MPa; Rf = 0,8÷2,3 %), in totale saturazione idrica, con sottili intercalazioni limo argillose di consistenza plastico tenera (q_c = 0,8÷0,9 MPa; Rf = 2,5÷14,9 %).

Sotto si alternano dei limi argillosi e/o viceversa, di colore grigio marrone, di consistenza da plastico molle a plastica (q_c = 0,4÷1,5 MPa; Rf = 3,4÷12,8 %) ed umidità molto elevata che, alle profondità di 4,00÷4,40 m e di 9,90÷10,40 m inglobano orizzonti sabbiosi variabilmente limosi di addensamento da scarso a medio (q_c = 1,0÷4,6 MPa; Rf = 0,7÷2,4 %).

Da una profondità media di 11,40÷12,40 m prevalgono dei limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura (q_c = 1,0÷2,8 MPa; Rf = 3,9÷11,5 %).

Suddetti litotipi sono sopportati da sabbie localmente limose di addensamento da medio scarso ad elevato (q_c =2,4÷> 10,0 MPa; Rf = 1,0÷2,0 %), con intercalazioni argilloso limose di consistenza da plastica a plastico dura (q_c = 1,5÷2,6 MPa; Rf = 6,3÷14,1 %), il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità media di 19,70÷20,20 m dal p.c. attuale.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico, alla data di esecuzione dell'indagine, rispetto al p.c. è stato misurato a partire dalla profondità di 1,90÷2,00 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,40÷0,80	P/R	-	-	-	-	-
A	0,40÷0,80	1,20÷2,00	LAS	0,9÷2,5	19,0÷19,3	45÷118	0	0
B	1,20÷2,00	2,40÷2,80	S/SL	1,5÷3,7	8,5÷8,6	0	33÷36	31÷47
C	2,40÷2,80	11,60÷12,40	LA/AL	0,4÷1,5	8,7÷9,2	20÷75	0	0
C1	4,00÷4,40	4,80÷5,40	S/SL	1,9÷4,6	8,5÷8,6	0	30÷35	15÷47
C2	9,90÷11,20	10,80÷11,40	S/SL	1,0÷3,5	8,5÷8,6	0	28÷31	15÷25
D	11,40÷12,40	19,70÷20,20	LA/AL	1,0÷2,8	9,0÷9,3	50÷127	0	0

P/R = terreno pedogenizzato e/o di riporto;
LAS = limi argillosi e sabbiosi;
S/SL = sabbie variabilmente limose;
LA/AL = limi argillosi e/o viceversa.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

Unità geotecnica 0

È costituita da terreno pedogenizzato e/o di riporto e si evidenzia sino ad una profondità media di 0,40÷0,80 m dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da limi argillosi e/o debolmente sabbiosi di consistenza prevalentemente plastica, ed umidità scarsa, inglobanti orizzonti plastico duri.

L'unità A si evidenzia da 0,40÷0,80 m sino ad una profondità media di 1,20÷2,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	1,7	19,2	85	0
CPTU 2	1,5	19,2	75	0
CPTU 3	1,5	19,2	75	0

Unità geotecnica B

È costituita da sabbie variabilmente limose di addensamento da scarso a medio, sature.

L'unità B si evidenzia da 1,20÷2,00 m sino ad una profondità media di 2,40÷2,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	2,7	8,0	0	34
CPTU 2	2,8	8,0	0	34
CPTU 3	2,2	8,0	0	33

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Unità geotecnica C

È costituita da limi argillosi e/o viceversa di consistenza plastico tenera, presumibilmente saturi.

L'unità C si evidenzia da 2,40÷2,80 m sino ad una profondità media di 11,60÷12,40 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	0,8	8,9	40	0
CPTU 2	0,8	8,9	40	0
CPTU 3	0,8	8,9	40	0

Unità geotecnica C1

È costituita da sabbie variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio, presumibilmente sature.

L'unità C1 si evidenzia da circa 4,00÷4,40 m sino ad una profondità media di 4,80÷5,40 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	1,4	8,0	0	30
CPTU 2	2,3	8,5	0	32
CPTU 3	3,0	8,5	0	33

Unità geotecnica C2

È costituita da sabbie variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio, presumibilmente sature.

L'unità C2 si evidenzia da circa 9,90÷11,20 m sino ad una profondità media di 10,80÷11,40 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	2,4	8,0	0	29
CPTU 2	2,7	8,0	0	30
CPTU 3	2,3	8,0	0	29

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Unità geotecnica D

È costituita da limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura, ed umidità scarsa.

L'unità D si evidenzia da 11,40÷12,40 m sino ad una profondità media di 19,70÷20,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTU 1	1,7	9,2	85	0
CPTU 2	1,7	9,2	85	0
CPTU 3	1,7	9,2	85	0

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

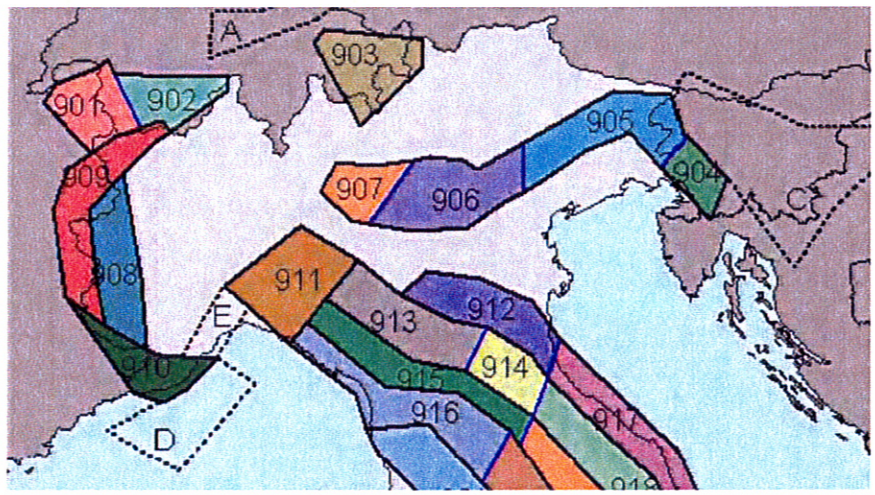
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Pieve di Cento (TAV. 3 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni PGA = 0,150 – 0,175g.

La Magnitudo dell'area si ottiene, come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" sulla base della zonazione sismogenetica ZS 9, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima.

Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911÷914 alle quali è attribuito un valore di M pari a 6,14.

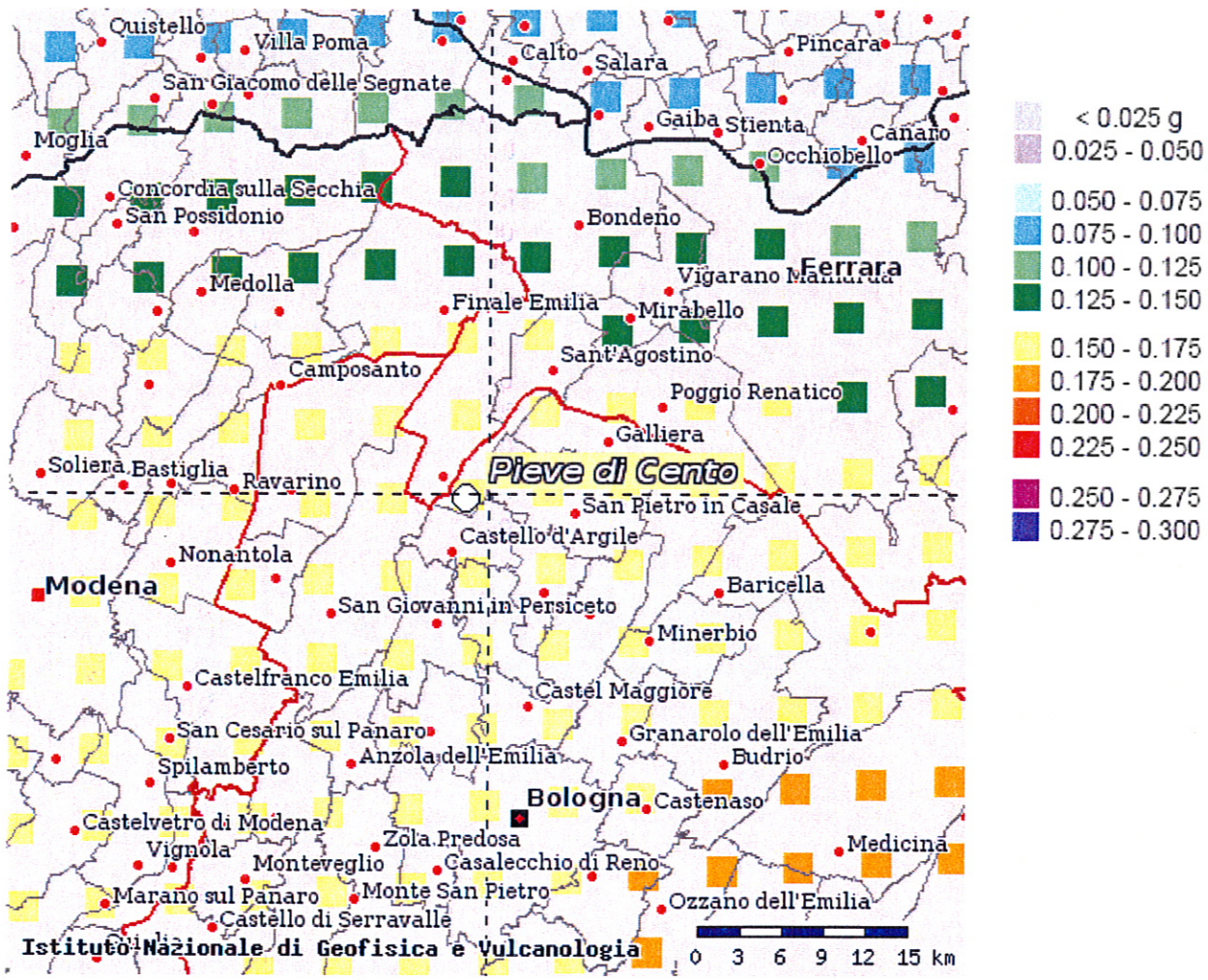


La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

☞

TAV. 3 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

9. MODELLAZIONE SISMICA

9.1. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale (Vn) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale Vn (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Nell'area in esame, sono previste opere tipo "2 "per le quali si prevede una vita nominale Vn ≥ 50 anni.

9.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe 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 IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi.. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A e B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e impianti di produzione di energia.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE Cu	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame sono relative alla Classe II pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a Cu = 1,0

9.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale Vn per il coefficiente d'uso Cu:

$$V_R = V_n \bullet C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a VR = 50 anni.

9.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame, considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	30	0,045	2,494	0,257
	SLD	63	50	0,057	2,492	0,270
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,158	2,590	0,274
	SLC	5	975	0,210	2,533	0,280

9.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A÷E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primo 30 m di profondità, e due categorie aggiuntive (S1 e S2) per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione della azione sismica.

Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

☞

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Secondo quanto riportato nella relazione sismica allegata, i terreni che caratterizzano il primo sottosuolo al p.c. presentano una Vs30 pari a 188 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<N_{SPT30}<50 nei terreni a grana grossa e 70<Cu_{30}<250 kPa nei terreni a grana fine")*.

9.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15 °≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

CATEGORIA	T1	T2	T3	T4
COEFFICIENTE St	1	1,2	1,2	1,4

L'area in esame sorge in una fascia pressoché pianeggiante, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

9.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di ag, Fo e Tc* mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tabella 3.2.V

Categoria sottosuolo	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4-0,4 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7-0,6 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4-1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-050}$
E	$1,00 \leq 2,00-1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	Ss	Cc
SLO	1,500	1,645
SLD	1,500	1,617
SLV	1,455	1,610
SLC	1,381	1,598

9.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = Ss \cdot St \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a 2,255 m/sec^2.

9.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$kh = \frac{\beta s \times a_{max}}{g}$$

dove:

βs = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	**B, C, D, E**
	βs	βs
0,2< ag (g) ≤0,4	0,30	0,28
0,1< ag (g) ≤0,2	0,27	0,24
ag (g) ≤0,1	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di βs pari a 0,24 relativamente allo stato limite SLV, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale (kh) pari a 0,055.

Il coefficiente sismico verticale si ottiene mediante la relazione:

$$kv = 0,50\ kh = 0,0275$$

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

10. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

Tale fenomeno riguarda innanzitutto terremoti di magnitudo > 5, caratterizzati da accelerazioni massime al sito a_{max} > 0,10 g e di durata prolungata (> 15 sec) e i sedimenti granulari (incoerenti), non consolidati, saturi, con densità relativa inferiore al 40 % e a granulometria uniforme e medio piccola, come ad esempio limi e sabbie fini di origine deltizia, fluviale e marina di età recente e i terreni di riporto.

Il fenomeno non appare probabile in terreni con valori superiori della densità relativa, e soprattutto quando le sabbie includono ghiaie o ciottoli. In questo ultimo caso se il deposito ghiaioso è compreso tra terreni poco permeabili, indipendentemente dalla sua capacità drenante, può essere soggetto al fenomeno della liquefazione.

Nei terreni a grana fine (limi ed argilla), sebbene caratterizzati da bassi valori della permeabilità, la possibilità che si possa verificare il fenomeno è molto ridotta o addirittura nulla, grazie all'influenza determinante dei legami interparticellari, ovvero della coesione.

Secondo l'Eurocodice 8 la liquefazione può verificarsi in terreni di fondazione composti da estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo - argillosa e falda al piano campagna.

Il rischio di liquefazione è espresso attraverso il rapporto fra lo sforzo ciclico normalizzato (CSR) e la resistenza ciclica normalizzata (CRR). Se il rapporto (Fs) è maggiore di 1 il terreno è non liquefacibile, mentre diventa liquefacibile in caso contrario.

Lo sforzo ciclico normalizzato può essere valutato nell'ipotesi di mezzo perfettamente rigido, in cui si propagano solo onde di taglio, con la seguente espressione semplificata che tiene conto del mezzo deformabile:

$$CSR = \frac{\tau_{hm}}{\sigma'_z} = 0{,}65 \times a_{\max s} \times \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \times \frac{r_d}{g} \times \frac{1}{MSF}$$

dove:

☞

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

τ_{hm} = tensione tangenziale media indotta dal sisma di progetto;

a_{max} = accelerazione massima al sito;

σ_z e σ'_z = valori della tensione litostatica totale ed effettiva alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c. valutabile secondo il seguente schema:

$r_d = 1-0{,}00765z$ per $z<9{,}15$ m

$r_d = 1{,}174-0{,}0267z$ per $9{,}15<z<23$ m

$r_d = 0{,}774-0{,}008z$ per $23<z<30$ m

$r_d = 0{,}5$ per $z> 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma ricavabile con le seguenti relazioni:

$MSF = (M/7{,}5)^{-3{,}3}$ per $M \leq 7{,}5$ (Idriss 1990)

$MSF = (10^{2{,}24})/(M^{2{,}56})$ per $M > 7{,}5$ (Andrus e Stokoe 1997)

La resistenza ciclica normalizzata (CRR) può essere valutata mediante il metodo di Robertson e Wride (1998) che permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati della prova penetrometrica statica.

La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$CRR = 0{,}83 \times \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000}\right] + 0{,}05 \rightarrow (q_{c1n})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 \times \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000}\right]^3 + 0{,}08 \rightarrow 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160$$

dove:

$$(qc1n)cs = Kc \times qc1n$$

è la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente (determinata mediante la procedura di Robertson e Wride 1998) e Kc è un fattore di correzione funzione dell'indice del tipo di terreno Ic così definito:

Ic	% fine	Kc
≥2,6	alto (limi/argille)	Non liquefacibile
≤ 1,64	basso	Kc = 1
1,64 < Ic< 2,6	medio	$Kc = -0{,}403 \bullet Ic^4 + 5.581Ic^3 - 21{,}63Ic^2 + 33{,}75 \bullet Ic - 17{,}88$

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Dalle procedure di calcolo di Robertson e Wride (1998) applicate alle CPTU 1÷3 è emerso che il fattore di sicurezza FS risulta inferiore a 1 in corrispondenza delle lenti sabbiose denominate U.G. C1 e C2.

Il rischio di liquefazione, deve inoltre essere valutato in termini quantitativi mediante un indice rappresentativo del rischio di liquefazione e applicabile ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza.

Iwasaki et al., (1978) hanno introdotto il parametro "Indice del potenziale di Liquefazione PL", esplicabile mediante le seguenti relazioni:

$$P_L = \int_0^{Zcrit} FS(z) \times w(z) \cdot dz$$

$$FS(z) = \begin{cases} 1 - FS(z) \rightarrow FS \leq 1.0 \\ 0 \rightarrow FS > 1.0 \end{cases}$$

$$w(z) = 10 - 0{,}5 \times z$$

dove:
z = profondità dal piano campagna;
zcrit = profondità critica pari a 20 m;
FS = Fattore di Sicurezza.

In base al valore di PL è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

Valore PL	**Rischio di liquefazione**
PL = 0	Molto basso
0 < PL ≤ 5	Basso
5 < PL ≤ 15	Alto
PL ≥ 15	Molto alto

Nell'area di progetto le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione PL compreso tra 0,14 e 0,41 traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione "Basso".

Uno schema delle verifiche eseguite viene riportato in allegato.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

11. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Nel sito in esame è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di III livello secondo lo schema seguente:

1) Definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
2) Selezione di un moto di input (terremoto caratteristico) al bedrock;
3) Stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza;
4) Stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

Al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito è necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta da utilizzare come input sismici nella modellazione stessa.

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di un'unica modellazione numerica generale di risposta sismica.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale è stata eseguita tramite il software EERA e si compone di due fasi:

- elaborazione del modello;
- simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

11.1. Selezione del moto di riferimento

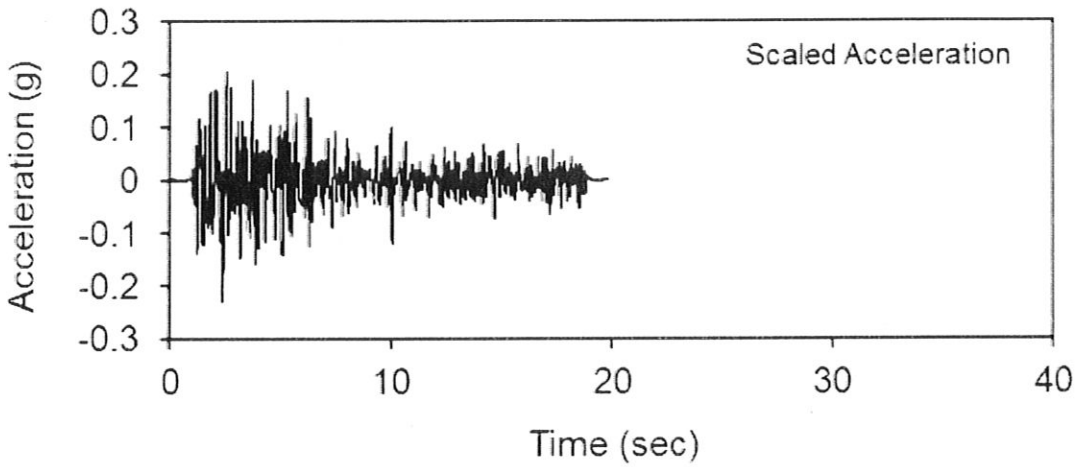
Per produrre una simulazione di terremoto si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire dai tre accelerogrammi reali relativi ad un sito in roccia (A) forniti dalla regione Emilia Romagna per il Comune di Pieve di Cento e identificati dalle sigle 046, 126 e 354 con valore di accelerazione di picco di 0,158g; gli stessi sono stati scalati sino ad ottenere un valore di picco PGA pari a 0,230g

I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.

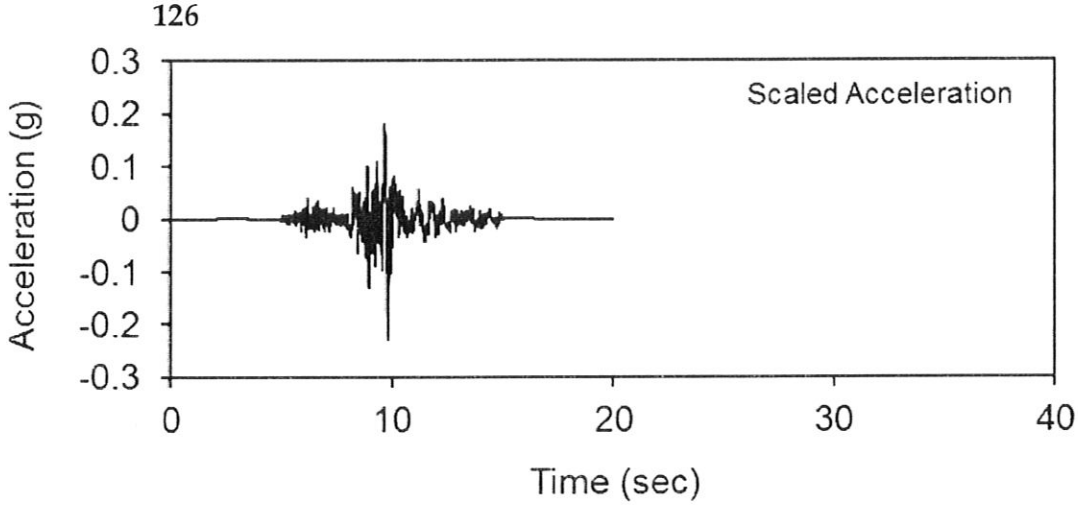
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (0,230g)

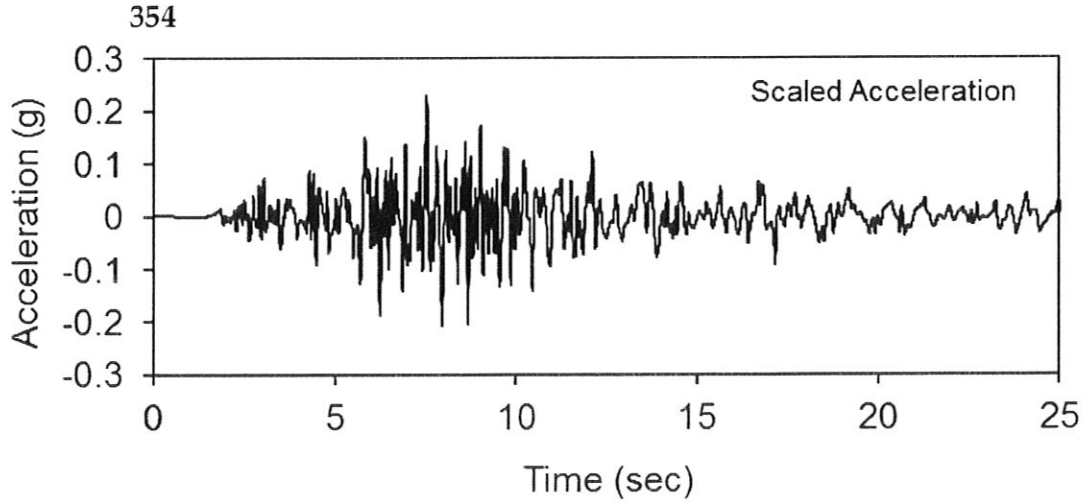
046



126



354



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

11.2. Elaborazione del modello sismico

La prima fase di elaborazione consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati caratterizzati da diversa tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

La stratigrafia che caratterizza il modello per i primi 30 metri deriva dagli esiti delle prove geognostiche eseguite mentre per l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio Vs relativa ai differenti strati della colonna sismica, si sono considerati gli esiti dell'indagine sismica eseguita.

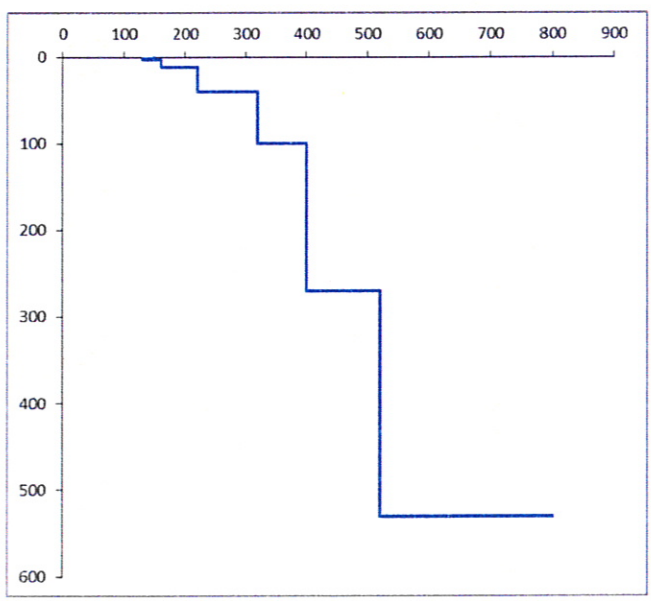
L'indagine geofisica non ha consentito di determinare la profondità del bedrock sismico pertanto il profilo di Vs è stato estrapolato in profondità sino a valori di Vs=800 m/s mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale, come indicato dalla delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.

Con la suddetta procedura la profondità del bedrock sismico cui corrisponde una Vs = 800 m/sec è stata stimata di 530 m dal p.c. attuale.

L'interpolazione tra il profilo di sottosuolo e le velocità delle onde sismiche di taglio permette di stimare i valori di accelerazione di picco attesi in superficie per i terremoti caratteristici.

I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.

Strato sismico	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	0,00÷1,50	150
2	1,50÷3,00	130
3	3,00÷12,00	160
4	12,00÷40,00	220
5	40,00÷100,00	320
6	100,00÷270,00	400
7	270,00÷530,00	520
8	> 530,00	800

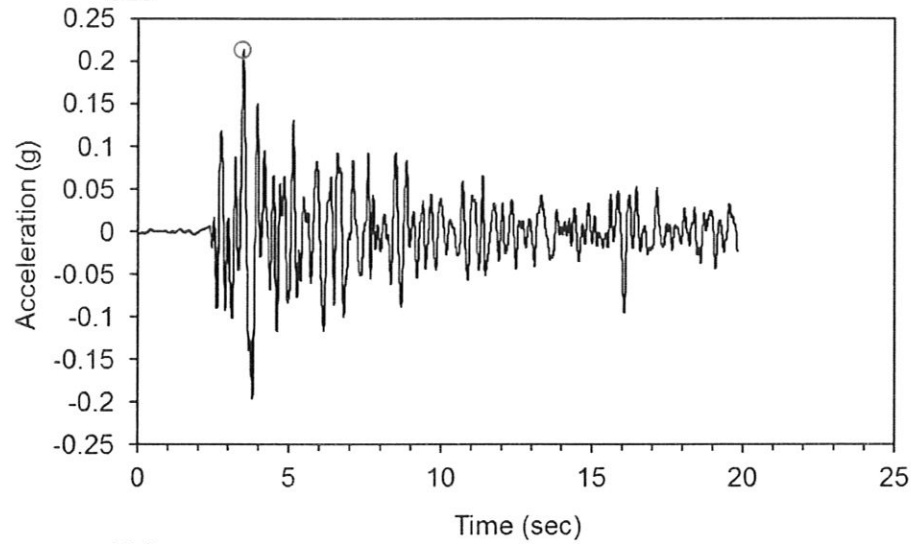


Studio Geologico Associato GEO-PROBE

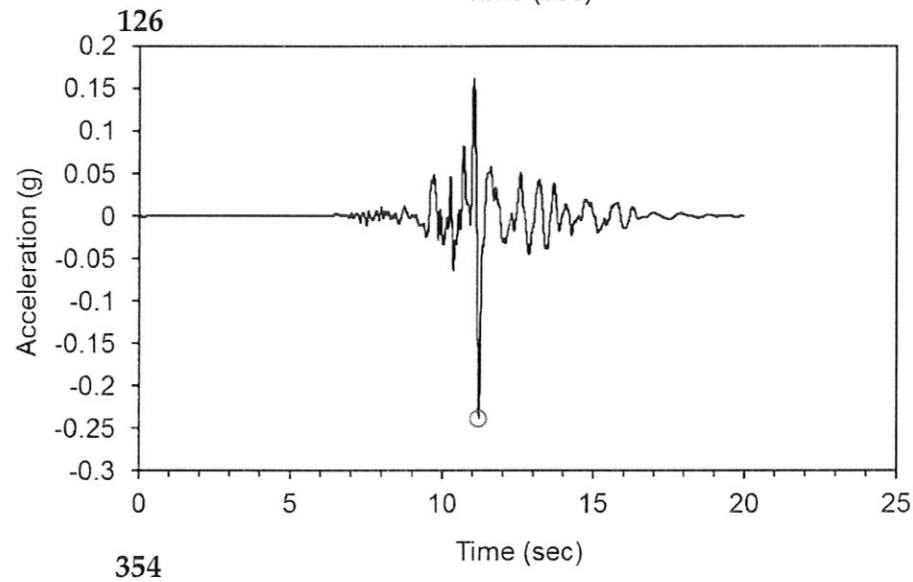
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

ACCELEROGRAMMI DEL SITO (

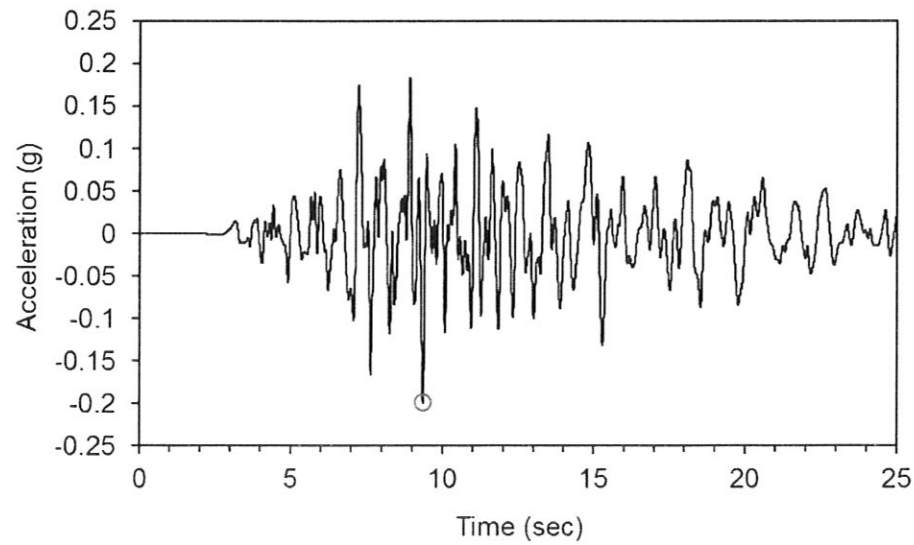
046



126



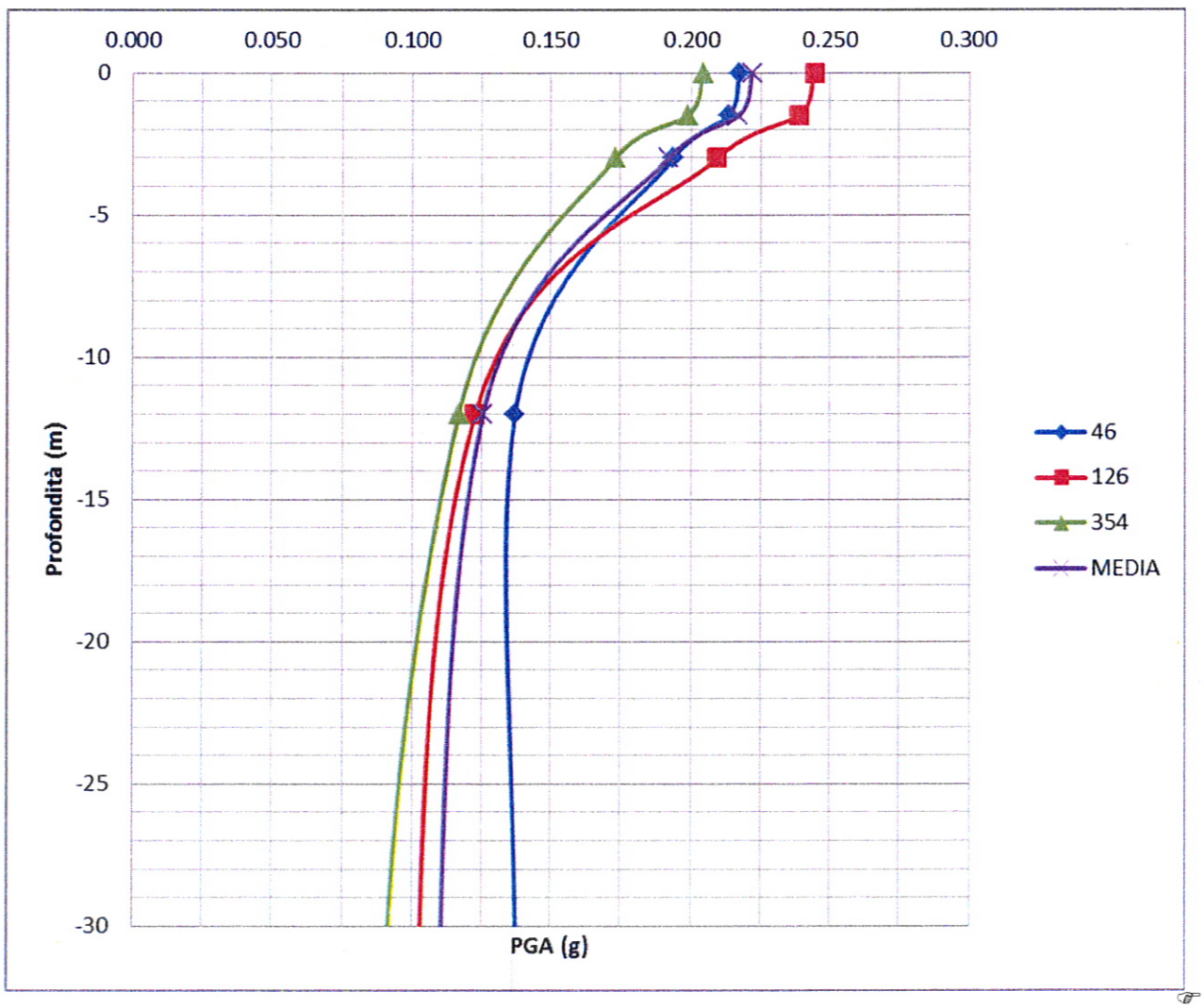
354



Di seguito in forma tabellare, viene riportato l'andamento dell'accelerazione di picco attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e il rispettivo valore medio mentre in forma grafica viene riportato l'andamento nei primi 30,00 m.

Dalla stessa si evince come il valore di picco dell'accelerazione atteso in superficie ottenuto dalla simulazione è compreso tra 0,217g e 0,244g mentre il valore mediato è pari a 0,222.

Profondità	PGA			
	046	0126	354	media
0	0.217	0.244	0.204	0.222
1.5	0.214	0.239	0.199	0.217
3.0	0.194	0.209	0.173	0.192
12.0	0.137	0.122	0.117	0.125
100.0	0.137	0.102	0.088	0.109
270.0	0.112	0.120	0.110	0.114
400.0	0.127	0.133	0.137	0.132
530	0.147	0.152	0.146	0.148



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

11.3. Elaborazione dell'amplificazione

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere due differenti spettri di risposta, ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato.

Poiché questi spettri vengono ripresi nell'ambito della verifica sismica del sito, nel nostro caso consideriamo come strato sismico il n. 2, sul quale presumibilmente verranno attestate le fondazioni delle opere in progetto.

Nella TAV. 4.1 vengono riportati i grafici della velocità spettrale; i risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo dell'Intensità Spettrale di Housner (IS), indicatore della pericolosità sismica definito come l'area sottesa dallo spettro di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze, e direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante il terremoto.

Il secondo spettro (TAV. 4.2) riguarda l'amplificazione locale intesa come il rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido (PGA_0) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (PGA).

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione del deposito, dalla quale si ricava la frequenza fondamentale, definita come la frequenza cui corrisponde il valore massimo della funzione di amplificazione.

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni (TAV. 4.2) risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 0,2 Hz e il relativo fattore di amplificazione (F.A.) risulta compreso tra 2,17 e 2,20.

Nella tabella successiva vengono riportati i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di intensità spettrale ((IS), ottenuti per ciascuno dei tre sismi di progetto.

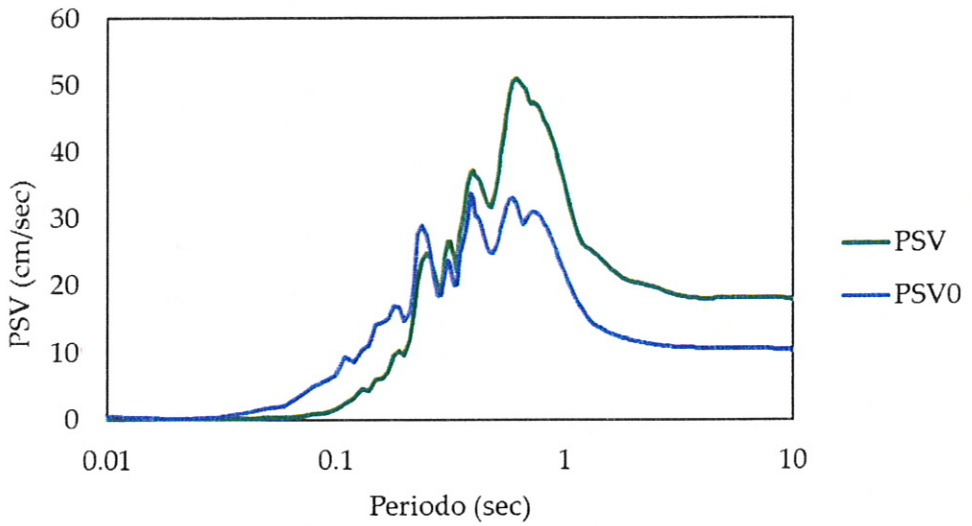
Segnale reg.	F.A. PGA/PGA_0	F.A. IS 0,00÷0,50 sec	F.A. IS 0,50÷1,00 sec
046	2,17	1,00	1,53
126	2,18	1,02	1,56
354	2,20	1,00	1,61

☞

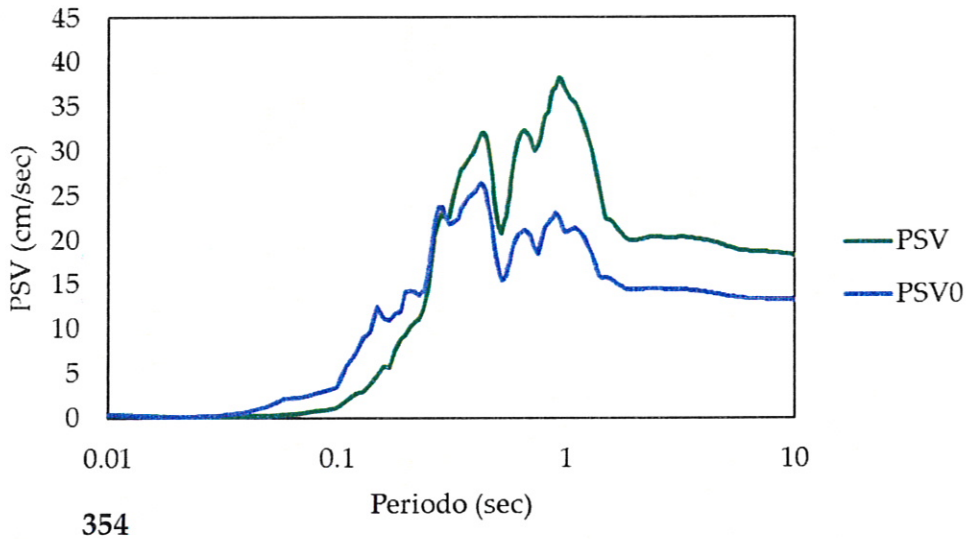
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 4.1 – Spettri di risposta relativi alla pseudovelocità (PSV)

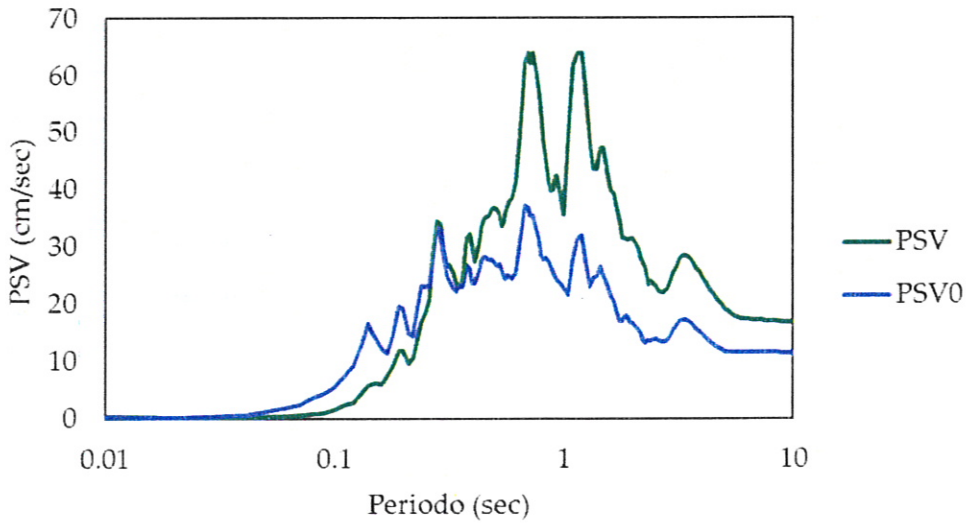
046



126

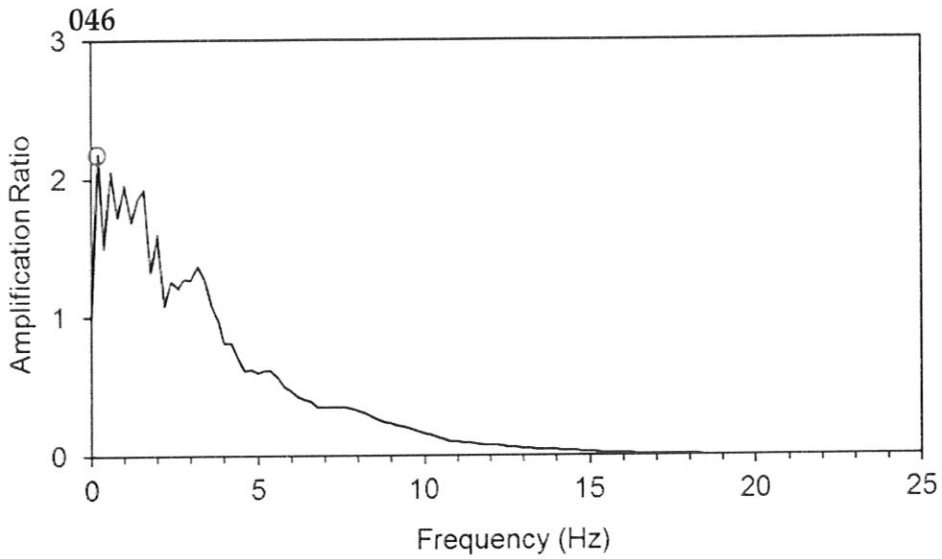


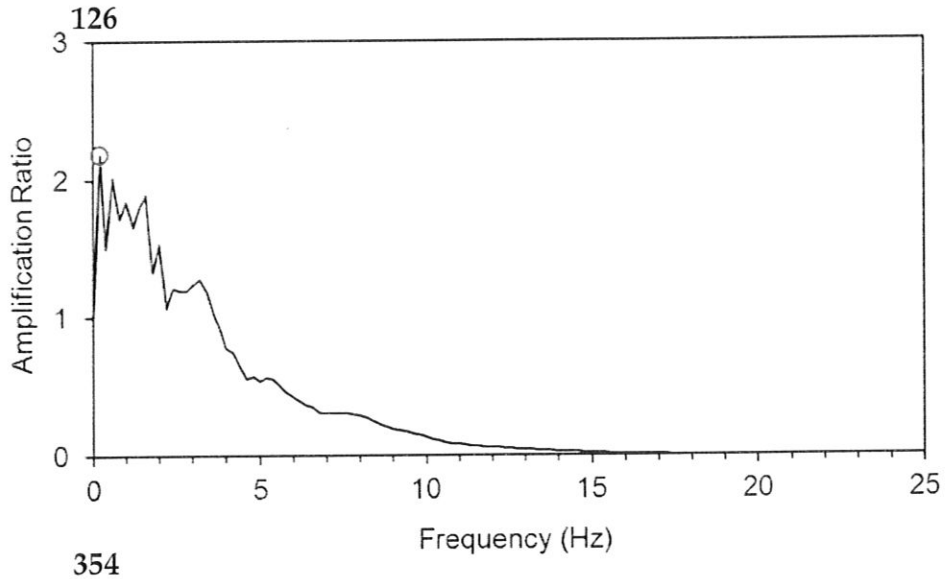
354

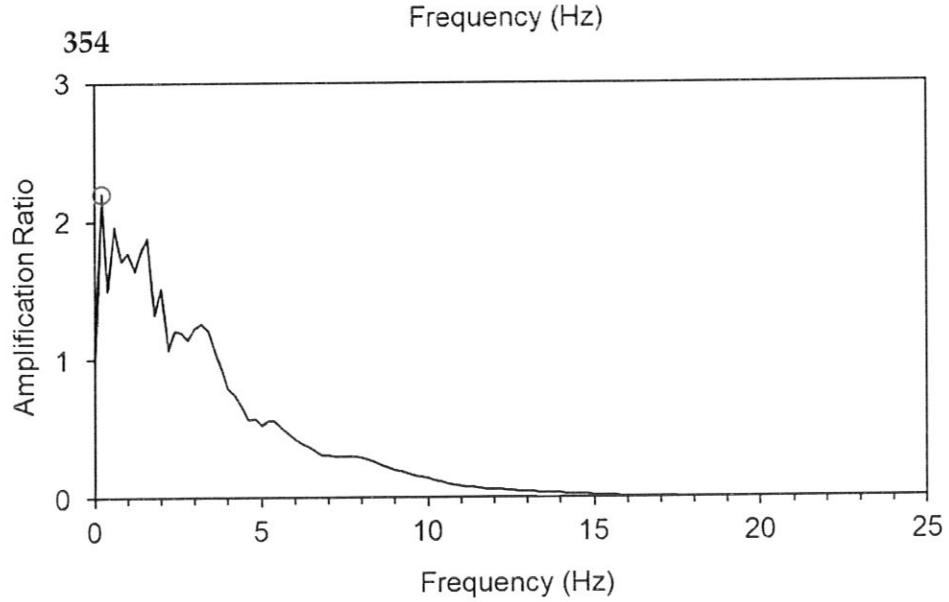


Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 4.2 – Spettro di amplificazione PGA/PGA0







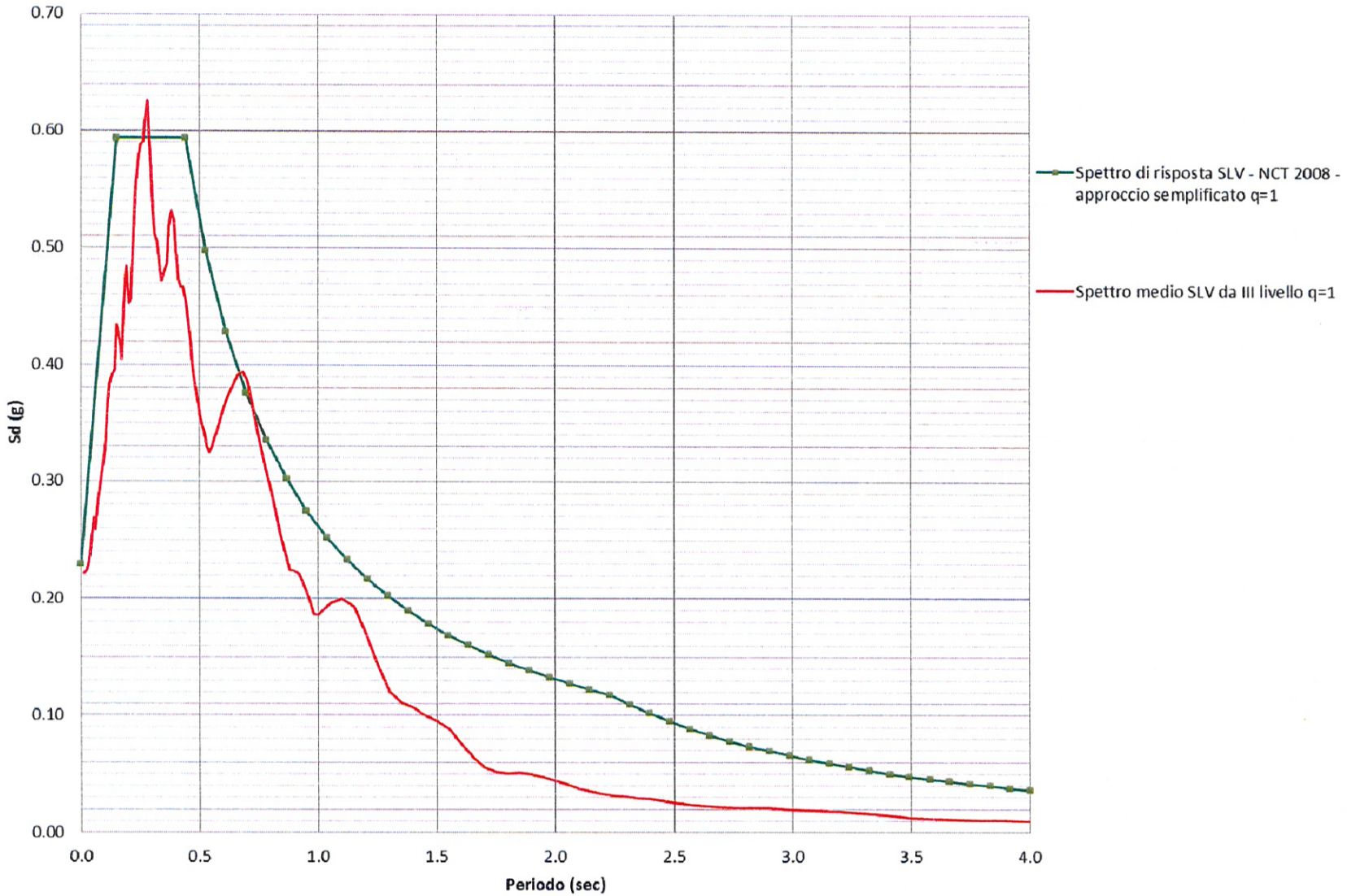
Nella TAV. 5 viene confrontato lo spettro in accelerazione, risultante dalla media dei tre spettri relativi agli accelerogrammi di input, e lo spettro elastico di progetto SLV (N.C.T. 3.2.3.5) ottenuto mediante il foglio di calcolo del Ministero dei Lavori Pubblici riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

I parametri utilizzati per determinare le forme spettrali sono i seguenti:

Vn = 50
Classe d'uso = II
Coefficiente d'uso = 1,0
Categoria di sottosuolo = C
Categoria topografica = T1
Smorzamento = 5 %
Fattore di struttura = 1

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 5– Spettri di risposta



Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

12. RESISTENZA DI PROGETTO DEL TERRENO IN CONDIZIONI STATICHE

Sulla base dei dati di resistenza meccanica ricavati dall'indagine geognostica eseguita è possibile valutare, in questa fase in via orientativa, la capacità portante dei terreni del primo sottosuolo.

Come evidenziato in precedenza nell'area indagata, i terreni del primo sottosuolo, al di sotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto sono caratterizzati dalla presenza di limi argillosi e sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura, sostituiti da una profondità variabile mediamente da 1,20 m a 2,00 m circa, e per circa 1,00÷1,20 m, da sabbie variabilmente limose di addensamento da scarso a medio in totale saturazione idrica, a loro volta sopportate da limi argillosi di consistenza da plastica a plastico molle.

Di seguito, utilizzando i parametri di resistenza meccanica misurati nel corso dell'indagine, si verifica la capacità portante dei suddetti terreni ipotizzando la presenza di un sistema fondale diretto nastriforme attestato sia all'interno dei limi argillosi, appartenenti alla unità geotecnica A, che alle sottostanti sabbie variabilmente limose (unità geotecnica B).

In accordo con le NTC sono stati effettuati i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU).

Secondo la Normativa la valutazione del grado di sicurezza si ottiene adottando il "Metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali" e verificando la relazione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed: valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione nelle varie combinazioni di calcolo;

Rd: valore di progetto della resistenza del terreno.

La verifica del valore di progetto della resistenza del terreno viene eseguita secondo la teoria proposta da *Brinch-Hansen* (1970), estensione dell'equazione di *Buisman* (1935) e *Terzaghi* (1943), basata sulle seguenti ipotesi:

- omogeneità ed isotropia del terreno;
- non resistenza del terreno agli sforzi tensionali di trazione;
- rigidezza infinita della struttura di fondazione rispetto al terreno.

Per le considerazioni suddette la formula di *Brinch-Hansen* viene ad assumere la seguente struttura:

$$Rd = (1/2\ \gamma'\ B\ N\gamma\ s\gamma\ d\gamma\ i\gamma\ g\gamma\ b\gamma\ z\gamma + c'\ Nc\ sc\ dc\ ic\ gc\ bc\ zc + q'\ Nq\ sq\ dq\ iq\ gq\ bq\ zq)\ rg/\gamma R$$

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

dove:

γ' = peso di volume del terreno posto al disotto della fondazione;

B = larghezza della fondazione;

$N\gamma$; Nc; Nq = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

c' = coesione del terreno;

q = (γ • D) = sovraccarico agente ai bordi della fondazione dove γ è il peso di volume del terreno e D è l'incastro della fondazione;

$s\gamma$; sc; sq = fattori di forma della fondazione;

$d\gamma$; dc; dq = fattori di profondità della fondazione;

$i\gamma$; ic; iq = fattori inclinazione carico sulla fondazione;

$g\gamma$; gc; gq = fattori dipendenti dall'inclinazione del terreno;

$b\gamma$; bc; bq = fattori dipendenti dall'inclinazione della fondazione;

$z\gamma$; zc; zq = fattori correzione sismico inerziale;

rg = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles);

γR = coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali.

12.A Terreni limo argillosi

In presenza di terreni prevalentemente coesivi la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita in condizioni non drenate (condizioni più critiche); in questo caso l'angolo di attrito interno del terreno (φ) viene considerato uguale a zero e la resistenza al taglio totale viene affidata alla sola coesione non drenata il cui valore viene ricavato empiricamente mediante la relazione:

$$Cu = \frac{qc_m - \sigma' vo}{Ncp}$$

dove:

qc_m = valore medio di resistenza meccanica del terreno posto al disotto del piano di posa delle fondazioni;

σ'_{VO} = tensione verticale efficace;

Ncp = coefficiente adimensionale funzione della litologia e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno $\beta = 0$, si riduce a:

$$Rd = (cud \bullet Nc \bullet sc \bullet zc + q) \bullet rg/\gamma R$$

dove:

cu*d* = coesione non drenata di progetto;

Nc = $(2 + \pi)$ = fattore capacità portante;

☞

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

s_c = fattore di forma delle fondazioni;

z_c = fattore correzione sismico inerziale;

q = (γ • D) = sovraccarico agente ai bordi della fondazione, dove γ è il peso di volume del terreno e D è l'incastro medio della fondazione;

r_g = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles), pari a 1-0,25 $\log_{10}(B/2)$; per valori di B<2 m, lo stesso si assume unitario.

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto (Vd) ottenuti applicando, ai valori caratteristici (Vk), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.

Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		γM	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan φ'k	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c' k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	cuk	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Il valore caratteristico della coesione non drenata (cu*k*), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della distribuzione lognormale della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza, al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di cu*d*.

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma viene introdotto il fattore correttivo zc ottenuto dalla formula:

$$z_c = 1 - 0{,}32 \bullet k_h$$

dove:

kh = coefficiente sismico orizzontale.

Per un valore di kh pari a 0,055, si ottiene un valore di zc pari a 0,982.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Il valore γ_R (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nel nostro caso, non considerando la superficie efficace della fondazione, otteniamo:

Fondazione diretta nastriforme (B < 2,00 m)

- Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)

cu*k* = 50 kN/m^2;
cu*d* = 35,7 kN/m^2;
zc = 0,982;
sc = 1,0;
q = 19,0 kN/m^2;
rg = 1,0;
$\gamma_R = 1,8$.

Rd = (35,7 • 5,14 • 0,982 • 1,0 + 19,0) • 1,0/1,8 = 110,6 kN/m^2

- Approccio 2 (A1+M1+R3)

cu*k* = 50 kN/m^2;
cu*d* = 50,0 kN/m^2;
zc = 0,982;
sc = 1,0;
q = 19,0 kN/m^2;
rg = 1,0;
$\gamma_R = 2,3$.

Rd = (50,0 • 5,14 • 0,982 • 1,0 + 19,0) • 1,0/2,3 = 118,0 kN/m^2

Sarà cura del progettista, sulla base della conoscenza dei parametri, della geometria e delle azioni di progetto, la verifica della disequazione Ed < Rd per entrambi gli approcci considerati.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

12.B Sabbie limose

In presenza di terreni prevalentemente incoerenti la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita ponendo la coesione uguale a zero e la resistenza al taglio viene affidata solamente all'angolo di attrito interno del terreno.

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno $\beta = 0$, si riduce a:

$$Rd = (1/2 \bullet \gamma' \bullet B \bullet N\gamma \bullet z\gamma \bullet S\gamma + q' \bullet Nq \bullet zq \bullet Sq) \bullet rg/\gamma R$$

dove:

$N\gamma$; Nq = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

$S\gamma$; Sq = fattori di forma della fondazione; pari rispettivamente a 1-0,4 • (B/L) e 1+ (B/L) • tg φ, con φ = angolo di attrito interno del terreno;

γ' = peso dell'unità di volume del terreno;

$q = (\gamma \bullet D)$ = sovraccarico agente ai bordi della fondazione, dove γ è il peso di volume del terreno e D l'incastro della fondazione assunto unitario;

B = larghezza della fondazione, assunta unitaria;

$z\gamma$; zq = fattori correzione sismico inerziale;

rg = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles), pari a $1-0{,}25 \log_{10}(B/2)$; nel nostro caso, ipotizzando un valore di B<2 m, lo stesso si assume unitario.

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto (Vd) ottenuti applicando, ai valori caratteristici (Vk), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.

☞

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan φ'k	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c' k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	cuk	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Il valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio del terreno ($\varphi'k$), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza (distribuzione di Student), al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di $\varphi'd$.

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma vengono introdotti i fattori correttivi z ottenuti dalle formule:

$$zq = (1 - kh/tg\varphi)^{0,35}$$

$$z_\gamma = zq$$

dove:

kh = coefficiente sismico orizzontale.

Il valore γ_R (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nel nostro caso, non considerando la superficie efficace della fondazione, otteniamo:

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Studio Geologico Associato GEO-PROBE – Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Fondazione diretta nastriforme (B < 2,00 m)

- Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)

$\varphi'k = 31°$;
$\varphi'd = 25,7°$;
$z\gamma = zq = 0,958$;
$\gamma' = 8,5$ kN/m^2;
$q = 19,0$ kN/m^2;
$rg = 1,0$;
$N\gamma = 12,01$;
$Nq = 11,48$.

$$Rd = (0,5 \bullet 8,5 \bullet 1,0 \bullet 12,01 \bullet 0,958 + 19,0 \bullet 11,48 \bullet 0,958) \bullet 1,0/1,8 = 143,3 \text{ kN/m}^2$$

- Approccio 2 (A1+M1+R3)

$\varphi'k = 31°$;
$\varphi'd = 31°$;
$z\gamma = zq = 0,967$;
$\gamma' = 8,5$ kN/m^2;
$q = 19,0$ kN/m^2;
$rg = 1,0$;
$N\gamma = 25,99$;
$Nq = 20,63$.

$$Rd = (0,5 \bullet 8,5 \bullet 1,0 \bullet 25,99 \bullet 0,967 + 19,0 \bullet 20,63 \bullet 0,967) \bullet 1,0/2,3 = 211,2 \text{ kN/m}^2$$

Sarà cura del progettista, sulla base della conoscenza dei parametri, della geometria e delle azioni di progetto, la verifica della disequazione Ed < Rd per entrambi gli approcci considerati.

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

13. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame si ubica ad una quota media di 17,00 m s.l.m., in un settore deposizionale della bassa Pianura Padana pressoché pianeggiante, caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord.

La litologia del primo sottosuolo al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto dello spessore medio di 0,40÷0,80 m, risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e sabbiosi di colore marrone, di consistenza da plastica a plastico dura ed umidità scarsa.

A partire da una profondità media di 1,20÷2,00 m, e sino a circa 2,40÷2,80 m, si evidenziano delle sabbie variabilmente limose di colore nocciola, di addensamento da scarso a medio in totale saturazione idrica, con sottili intercalazioni limo argillose di consistenza da plastico tenera a plastica.

Sotto si alternano dei limi argillosi e/o viceversa, di colore grigio marrone di consistenza da plastico molle a plastica ed umidità molto elevata che, alle profondità di 4,00÷4,40 m e di 9,90÷10,40 m, inglobano orizzonti sabbiosi variabilmente limosi di addensamento da scarso a medio.

Da una profondità media di 11,40÷12,40 m prevalgono dei limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura.

Suddetti litotipi sono sopportati da sabbie limose di addensamento da medio scarso ad elevato, con intercalazioni argilloso limose di consistenza plastica, plastico dura il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità media di 19,70÷20,20 m dal p.c. attuale.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico, alla data di esecuzione dell'indagine, rispetto al p.c. è stato misurato a partire dalla profondità di 1,90÷2,00 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,40÷0,80	P/R	-	-	-	-	-
A	0,40÷0,80	1,20÷2,00	LAS	0,9÷2,5	19,0÷19,4	45÷118	0	0
B	1,20÷2,00	2,40÷2,80	S/SL	1,5÷3,7	8,0÷8,5	0	33÷36	31÷47
C	2,40÷2,80	11,60÷12,40	LA/AL	0,4÷1,5	8,7÷9,2	20÷75	0	0
C1	4,00÷4,40	4,80÷5,40	SL/LS	1,9÷4,6	8,0÷8,5	0	30÷35	15÷47
C2	9,90÷11,20	10,80÷11,40	SL/LS	1,0÷3,5	8,0÷8,5	0	28÷31	15÷25
D	11,40÷12,40	19,70÷20,20	AL	1,0÷2,8	9,0÷9,4	50÷127	0	0

☞

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

I terreni che caratterizzano il primo sottosuolo al p.c. presentano una Vs30 pari a 188 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<N_{SPT30}<50 nei terreni a grana grossa e 70<Cu_{30}<250 kPa nei terreni a grana fine")*.

Nell'area di progetto le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione compreso tra 0,14 e 0,42 traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione "Basso".

La modellazione della risposta sismica locale ha consentito di determinare i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di intensità spettrale (IS).

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 0,2 Hz, ed il relativo fattore di amplificazione (FA) risulta compreso tra 2,17 e 2,20, mentre il fattore di amplificazione (F.A.), in termini di intensità spettrale (IS), per periodi propri del sito (T_0) compresi tra 0,1 e 0,5 sec varia da 1,00 a 1,02 sec, e per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 sec varia da 1,53 a 1,61 sec.

I terreni limo argillosi appartenenti all'unità geotecnica A , nel caso di un sistema fondale diretto nastriforme, non considerando la superficie efficace dello stesso, consentono valori di resistenza di progetto dell'ordine di 110,6 kN/m^2 nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e dell'ordine di 118,0 kN/m^2 nel caso di "Approccio 2", mentre le sottostanti sabbie limose (unità geotecnica B), sempre per le stesse condizioni, consentono valori di resistenza di progetto dell'ordine di 143,3 kN/m^2 nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e dell'ordine di 211,2 kN/m^2 nel caso di "Approccio 2".

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che da un punto di vista geologico, seguendo le prescrizioni riportate in precedenza, non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Casalecchio di Reno, 15 Novembre 2013

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. GRAZIANO GRIMANDI
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO
SEZIA
N. 407 ALBO P.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

ALLEGATI

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Indagine geognostica

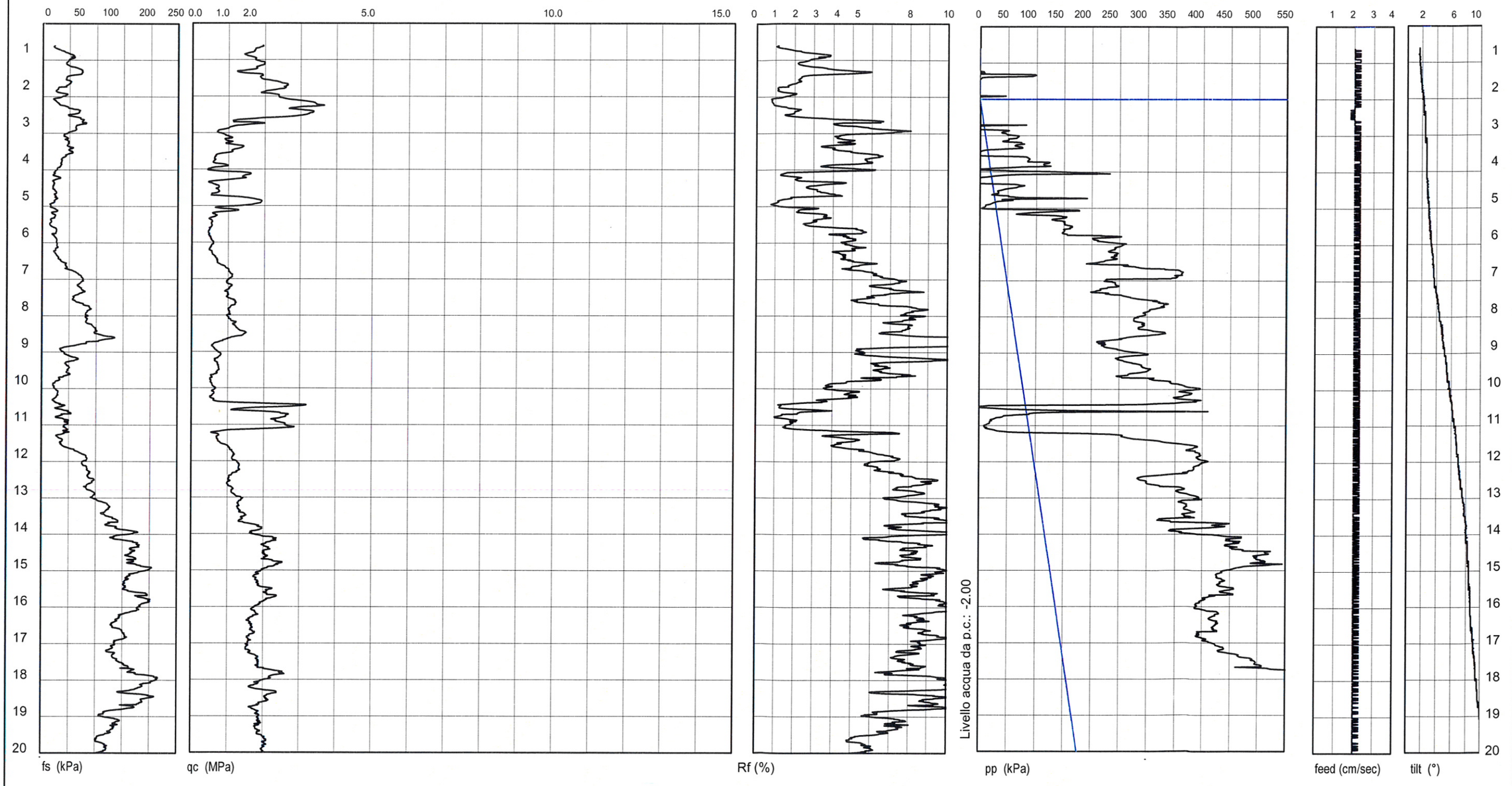
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

C P T U (piezo cone penetration test) N. 1

Rapporto di Prova N. 13.0660/RSP

Committente : Sig. Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MH261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota : ---
Preforo : 0.60 cm
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	**13.0660/RSP**	0	31/10/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

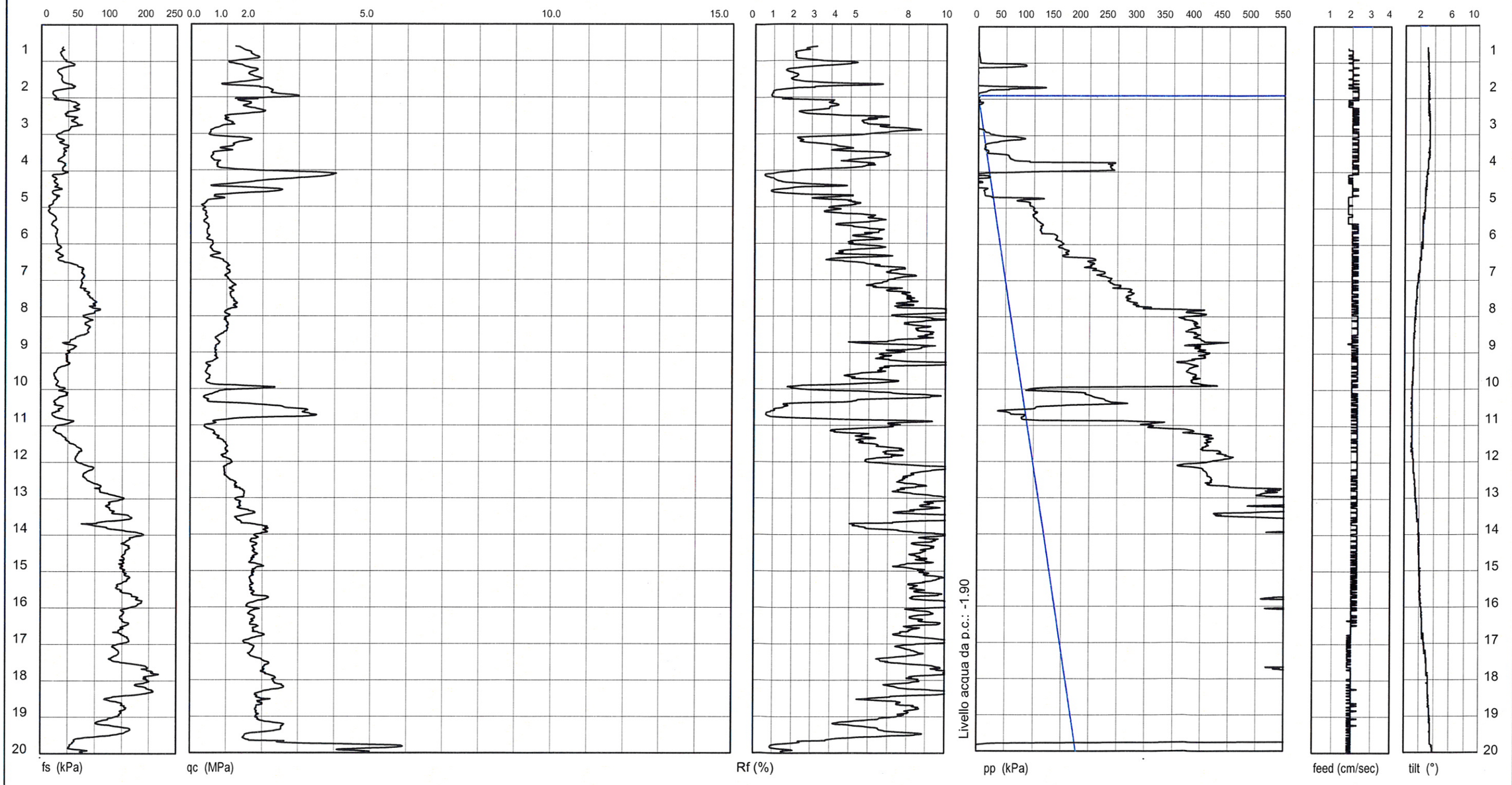
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

C P T U (piezo cone penetration test) N. 2

Rapporto di Prova N. 13.0662/RSP

Committente : Sig. Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MH261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota : ---
Preforo : 0.60 cm
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	**13.0662/RSP**	0	31/10/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

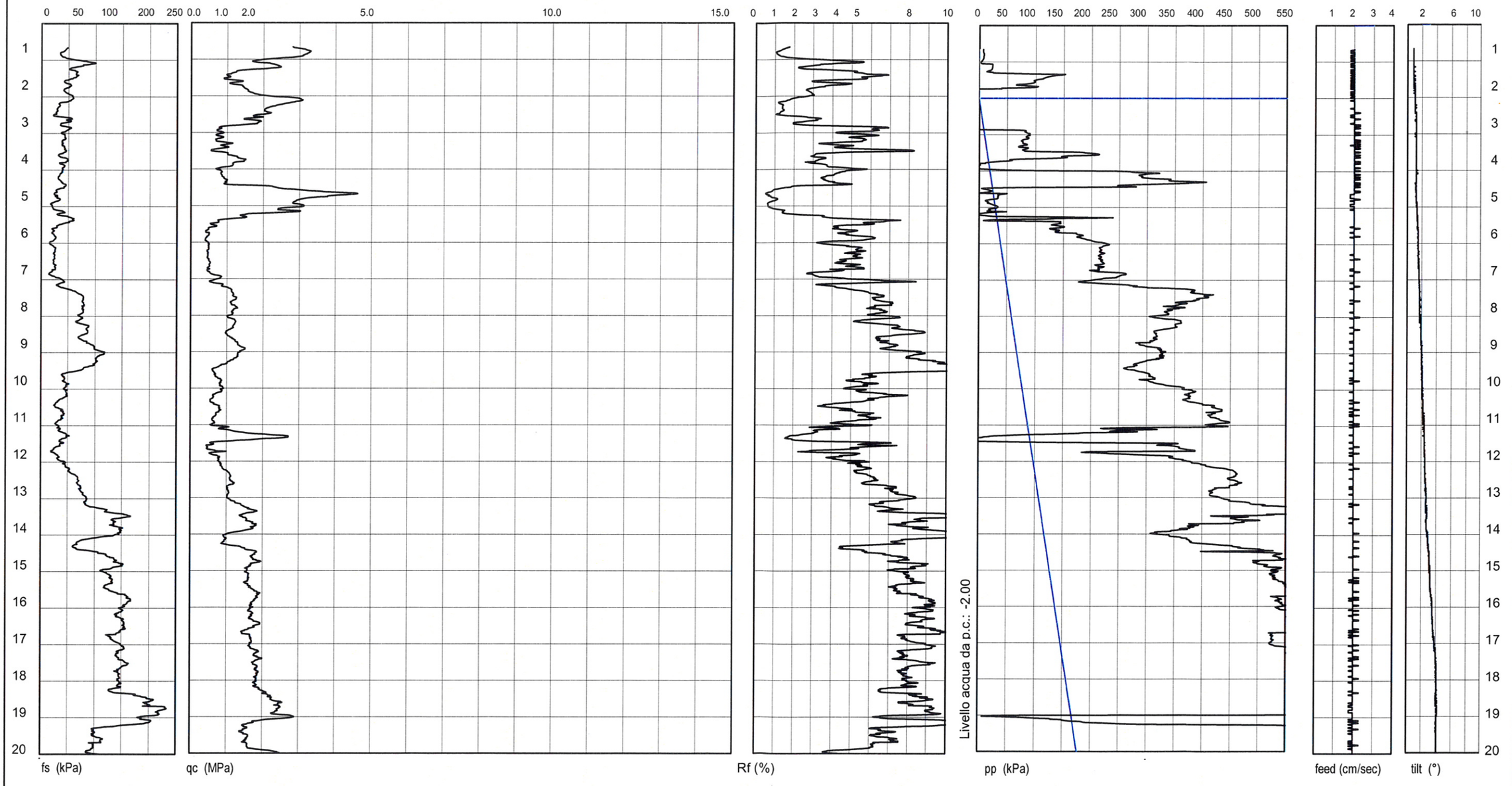
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

C P T U (piezo cone penetration test) N. 3

Rapporto di Prova N. 13.0667/RSP

Committente : Sig. Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MH261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota : ---
Preforo : 0.65 cm
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	**13.0667/RSP**	0	31/10/2013	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 CASALECCHIO DI RENO (BO)
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Committente:	Sig.ra Alberghini Berta	Quota:	--	Rap. Pr. N°13.0669/RSP	
Località:	Pieve di Cento (BO)	Profondità:	4.00 m	Codice Lavoro2013.155	
Cantiere:	via Pradole	Data Inizio:	31/10/2013	SONDAGGIO	FOGLIO
Perforazione:	Trivellazione a secco d 120 mm	Data Fine:	31/10/2013	1	1/1
Attrezzatura:	Unimog U400L	Il geologo:	Dr. Conti		

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	13.0669/RSP	0	31/10/2013	Dr. Chelli	Dr. L. Conti

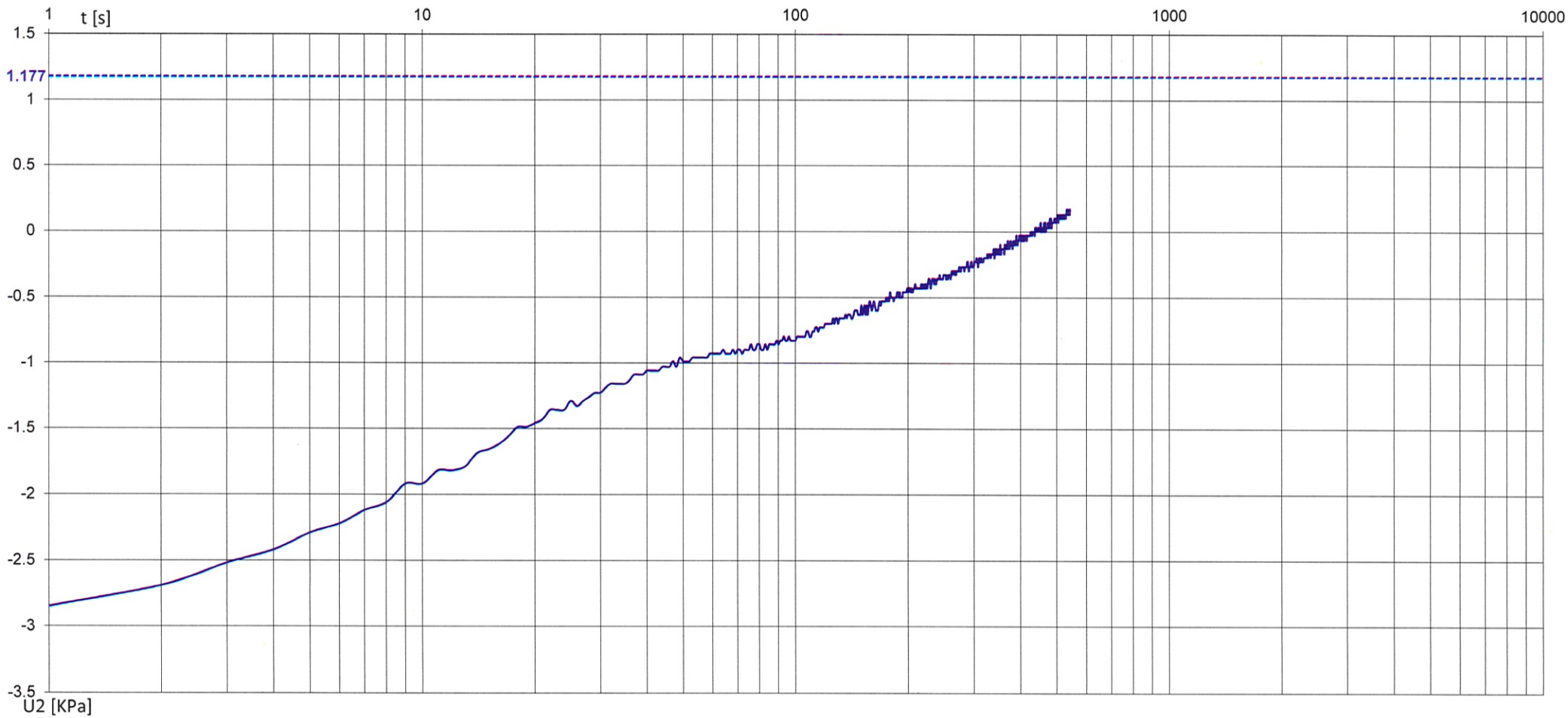
Profondita' [m]	Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Campioni	Falda	Piezometro Norton
0.30	1		Terreno agrario.			
			Limo argilloso sabbioso di colore marrone; terreno a consistenza plastica ed umidità scarsa.			
2.00	2		Limo sabbioso e/o viceversa di colore nocciola; terreno ad addensamento scarso ed umidità da molto elevata alla totale saturazione idrica.		2.00	
2.80	3		Limo argilloso sabbioso di colore grigio marrone; terreno a consistenza plastico molle ed umidità molto elevata.			
3.60	4		Argilla limosa di colore grigio con livelli di alterazione ocracei con resti vegetali; terreno a consistenza plastica ed umidità medio elevata.			
4.00	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					

GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 1

Committente : Sig.ra Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. M261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Rapporto di Prova N. 13.0663/RSP
Quota diss. : 2.02 m da p.c.
Falda : 1.90 m da p.c.
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	13.0663/RSP	0	31/10/2013	Dr. Marco Chelli	Dr. Luca Conti

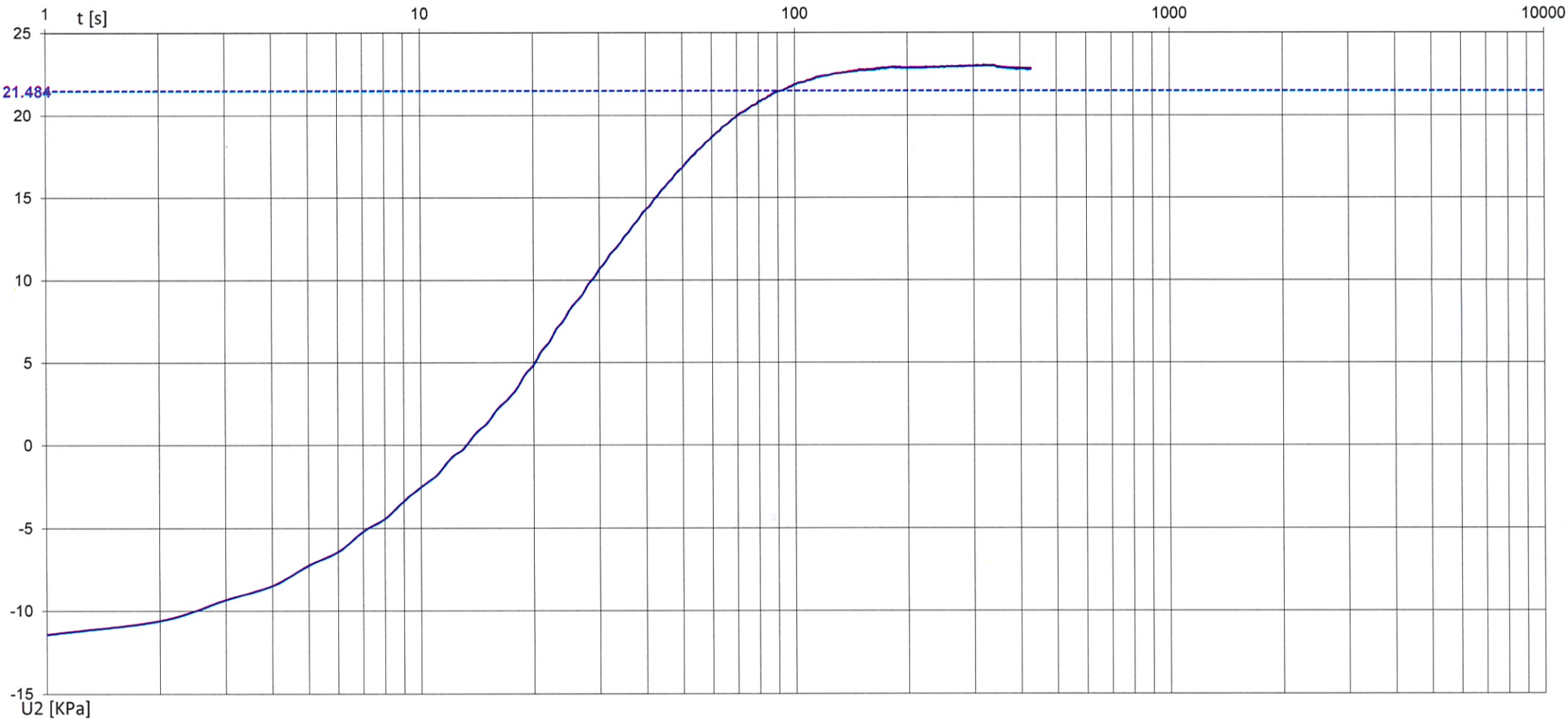
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 2

Rapporto di Prova N. 13.0664/RSP

Committente : Sig.ra Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. M261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota diss. : 4.09 m da p.c.
Falda : 1.90 m da p.c.
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	13.0664/RSP	0	31/10/2013	Dr. Marco Chelli	Dr. Luca Conti

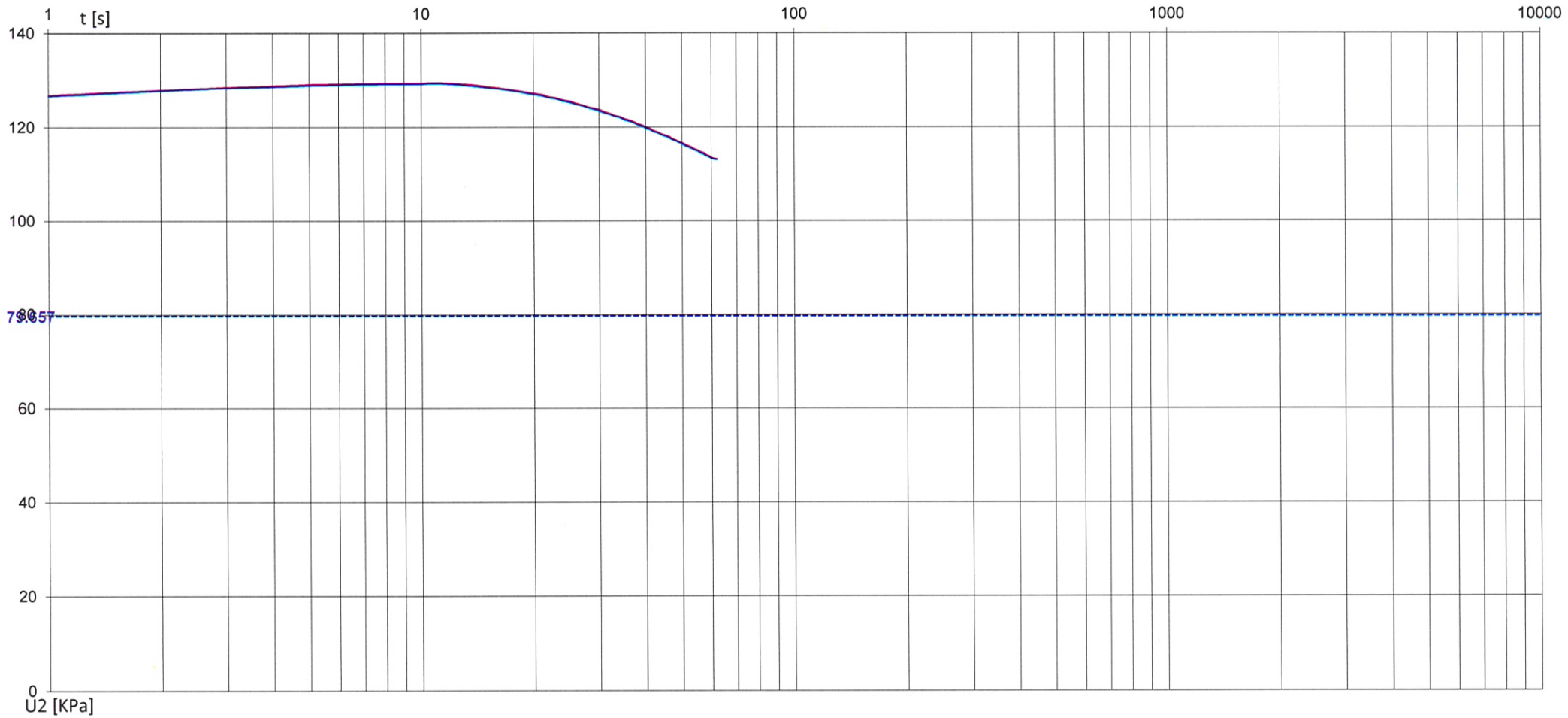
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 3

Rapporto di Prova N. 13.0665/RSP

Committente : Sig.ra Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. M261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota diss. : 10.02 m da p.c.
Falda : 1.90 m da p.c.
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	13.0665/RSP	0	31/10/2013	Dr. Marco Chelli	Dr. Luca Conti

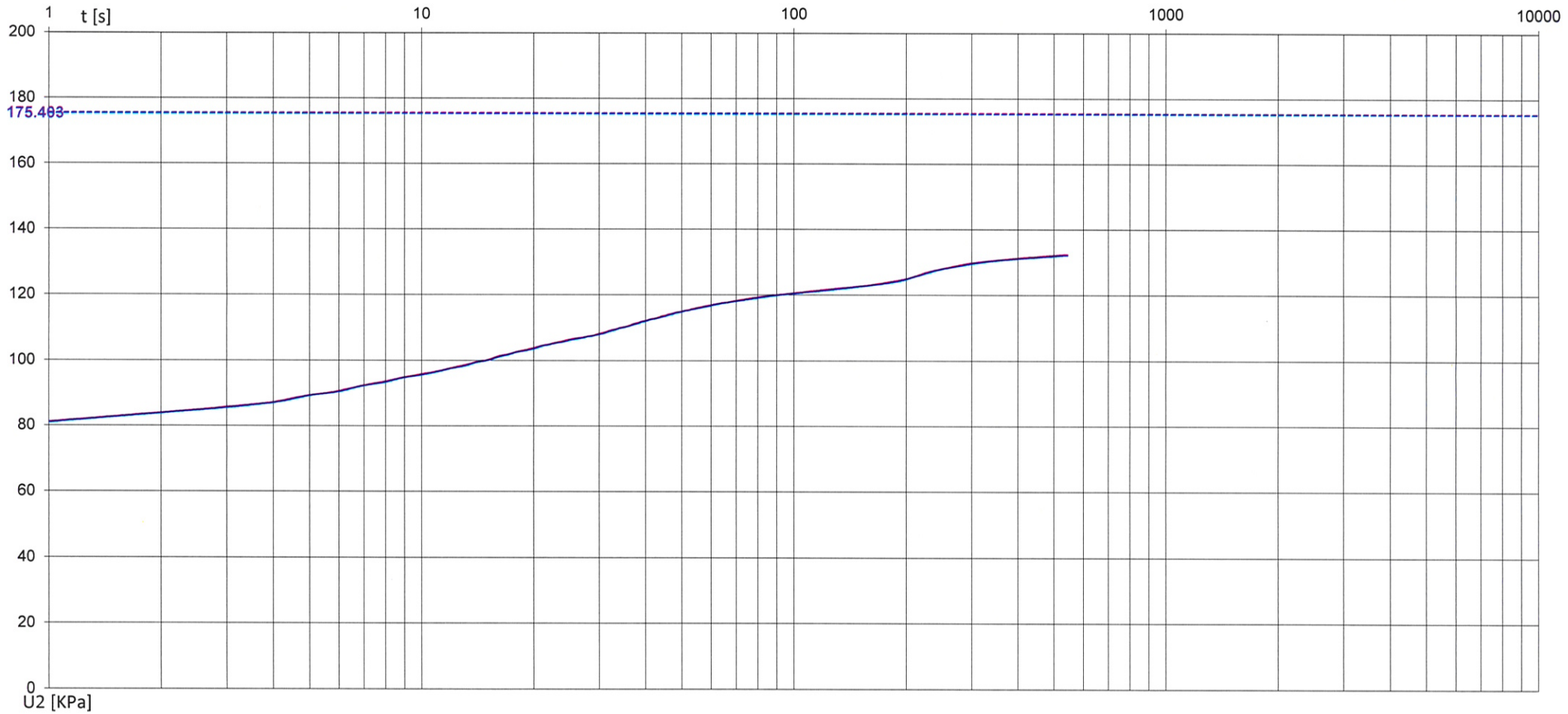
GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 4

Rapporto di Prova N. 13.0666/RSP

Committente : Sig.ra Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. M261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Quota diss. : 19.78 m da p.c.
Falda : 1.90 m da p.c.
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



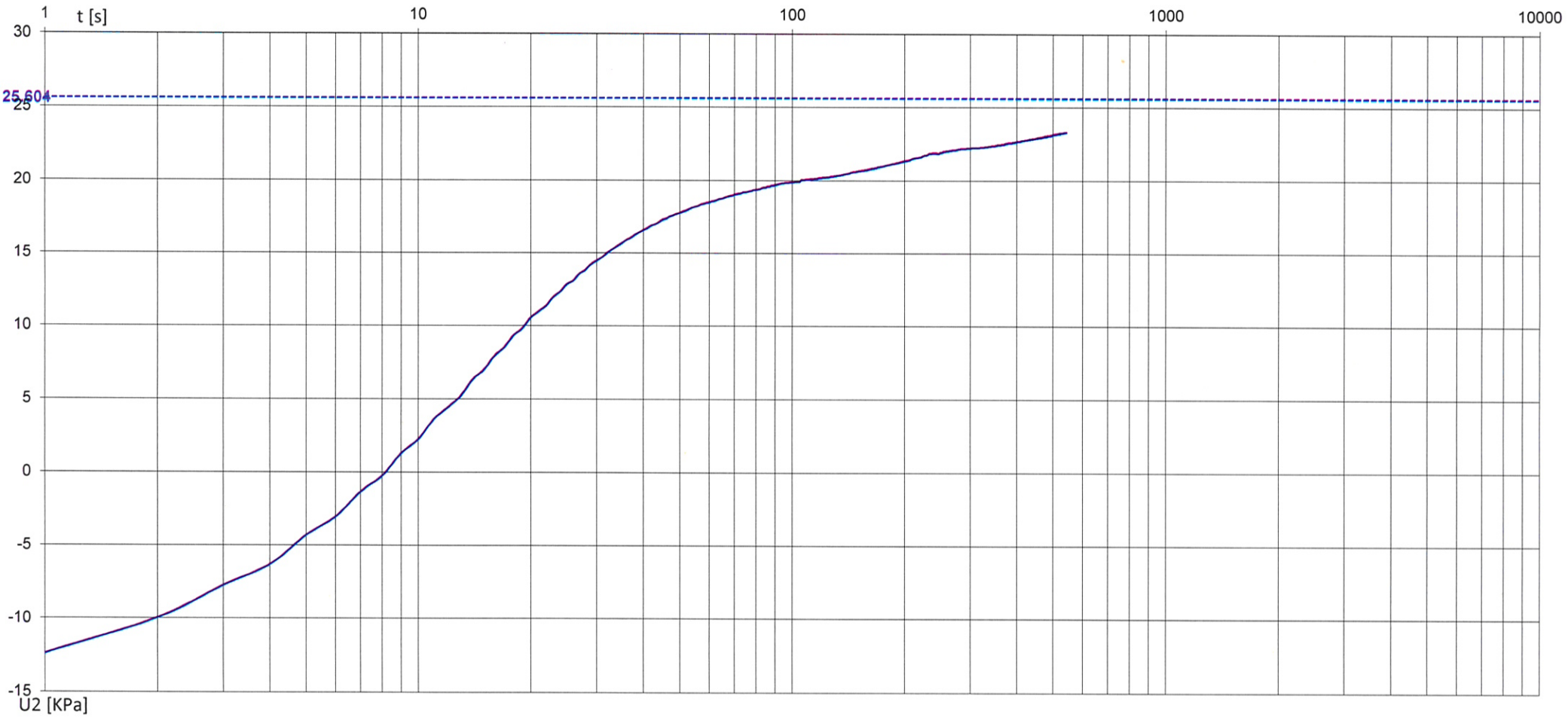
Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	13.0666/RSP	0	31/10/2013	Dr. Marco Chelli	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 3 DISSIPAZIONE N. 1

Committente : Sig.ra Alberghini Berta
Località : Pieve di Cento (BO) Cantiere: via Pradole
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. M261 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Rapporto di Prova N. 13.0668/RSP
Quota diss. : 4.61 m da p.c.
Falda : 2.00 m da p.c.
Data Prova : 31/10/2013
Codice Lavoro : 2013.155



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	13.0668/RSP	0	31/10/2013	Dr. Marco Chelli	Dr. Luca Conti

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Indagine sismica

Comune di Pieve di Cento

RELAZIONE SISMICA

Indagine sismica con metodologia MASW per la valutazione del parametro V_{S30} in un'area situata in Via Pradole a Pieve di Cento (BO)

Committente: Geo-Probe S.r.l.

Novembre 2013

Geologo Mirko Sita
Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa (BO)
Cell. 349.4515174 – E-mail: info@mirkosita.it – Web: www.mirkosita.it
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

INDICE:

1. INTRODUZIONE 2

2. METODOLOGIA MASW 4

2.1 DESCRIZIONE 4
2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE DATI 4
2.3 ELABORAZIONE DATI 6
2.4 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI 7

3. INDICAZIONE DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DEL TERRENO 9

4. INDICAZIONE DEL SUBSTRATO SISMICO 10

5. VALUTAZIONE DEL PARAMETRO VS30 11

6. CONCLUSIONI 12

1. INTRODUZIONE

Su incarico della ditta Geo-Probe S.r.l. è stata redatta la presente relazione riportante i risultati ottenuti da un profilo sismico con metodologia MASW e da due registrazioni del rumore sismico ambientale (microtremori) eseguiti dallo scrivente in data 8 Novembre 2013 in un'area situata in Via Pradole a Pieve di Cento (BO).

Lo scopo dell'indagine, su richiesta della stessa Geo-Probe S.r.l., è consistito nella ricostruzione delle velocità delle onde di taglio V_S in profondità e nella conseguente determinazione del parametro V_{S30} al fine di classificare il suolo di fondazione del sito in accordo con la normativa vigente:
Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (14/01/2008): *Norme tecniche per le costruzioni* (G.U. n. 29 del 04/02/2008) – Suppl. Ordinario nº 30

L'area di intervento è ubicata nell'Elemento *Pieve di Cento* n° 202082 della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000.

L'ubicazione dello stendimento e dei punti di registrazione dei microtremori è indicata in Tavola 1 di seguito riportata.

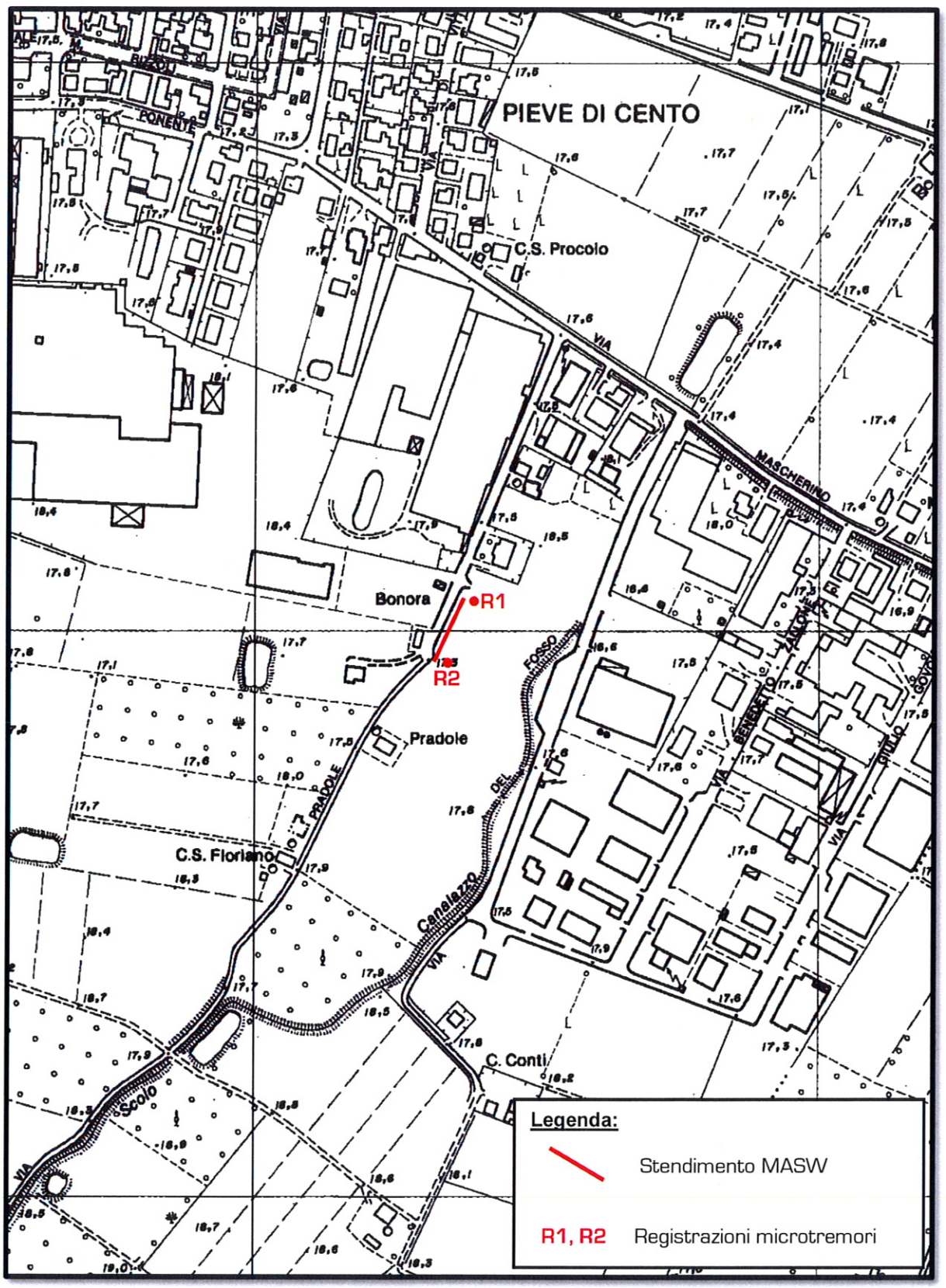


TAVOLA 1: Estratto dalla Carta Tecnica Regionale, Elemento *Pieve di Cento* n° 202082 - Scala 1:5.000

2. METODOLOGIA MASW

2.1 DESCRIZIONE

L'indagine sismica di tipo MASW *(multichannel analysis of surface waves)* è una tecnica di analisi del sottosuolo che sfrutta la propagazione delle onde superficiali nel terreno per determinare l'andamento della velocità delle onde S.

La registrazione avviene utilizzando la strumentazione classica per le indagini sismiche a rifrazione, ovvero tramite uno stendimento lineare composto da geofoni posti a distanza fissa tra loro. Per il seguente lavoro è stato effettuato il metodo attivo, ovvero le onde superficiali sono state prodotte da una sorgente impulsiva sul piano campagna.

Per migliorare la qualità dei dati si è aumentato il rapporto segnale/rumore producendo più energizzazioni e sommandole tra loro in quel processo che viene comunemente chiamato *stacking*.

2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE DATI

La strumentazione ed i parametri utilizzati per l'acquisizione dei dati in campagna vengono sinteticamente indicati di seguito:

- Sorgente: mazza da 8 kg
- Numero di battute efficaci: 5
- Distanza sorgente dal primo geofono: 5 m
- Geofoni: verticali con frequenza propria di 4.5 Hz
- Numero di geofoni: 15
- Distanza intergeofonica: 3 m
- Lunghezza dello stendimento: 42 m
- Unità di acquisizione: notebook + sistema sismico digitale multicanale SoilSpy Rosina (caratteristiche tecniche nella pagina seguente)
- Software di acquisizione: SoilSpy Rosina Software
- Frequenza di campionamento: 512 Hz
- Tempo di registrazione: 2 sec

Caratteristiche tecniche di SoilSpy Rosina
Array-PC connection: via USB interface
Geophone-Array connection: bipolar, one for each module
Input impedance: 20 kΩ (12 kΩ attenuated mode)
Dynamic range: from ±3.2 mV to ±665 mV (8 options)
Resolution/Gain: from 0.1 µV/digit to 20 µV/digit (8 options)
Sampling rate: 89 kHz on each channel, sub-sampling through averaging
Data output: 256, 512, 1024 or 2048 Hz on each channel
Conversion: synchronized on each channel
Maximum continuous recording time: limited only by PC memory storage capability
Data transmission: asynchronous bidirectional serial, 1MBaud
Status indicators: LED
Average consumption: 120 mA @256Hz. 130 mA @512Hz. 150 mA @1024Hz
Power supply: 5V. Powered directly from the PC via USB. No external additional batteries
Internal Voltage: +3.3V
Number of channels: 1 for each module, analog band DC-360 Hz
Number of modules: 16 or 32 (16+16). Other combinations on demand
System Size: Single module: 0.053L x 0.063W x 0.022H meters. Cable winder (external rim): 0.370L x 0.30W x 0.220H meters
Weight: ~5 kg included cable winder for the 24 module – 5 m interspace system
Operating environmental conditions: temperature 0-50°C, humidity 0-100%
Storage and transport conditions: temperature –20-60°C, humidity 0-95% without condensation
Impermeability: IP protection index 65 (dust proof, splash proof)
Manifacturer: Micromed S.p.A. - Via Giotto 2 - 31021 - Mogliano Veneto (TV) – Italy

Il valore della velocità delle onde S valutata tramite il metodo MASW risente di un errore strumentale che può essere considerato intorno al 20% del valore stesso. Tale errore, comunque presente anche in un'esecuzione *ad hoc* della prova, deve pertanto essere considerato in fase di attribuzione della categoria di sottosuolo qualora il valore del parametro V_{S30} risultasse prossimo al "valore limite" minore che separa la categoria dentro cui ricade da quella sottostante più cautelativa.

2.3 ELABORAZIONE DATI

Lo *stacking* delle onde, effettuato con il software *SoilSpy Rosina*, ha permesso di ottenere il pacchetto dati mostrato in figura 1, in cui in ogni riga è visibile l'arrivo a ciascun geofono. Il geofono 1 è stato utilizzato come *trigger*.

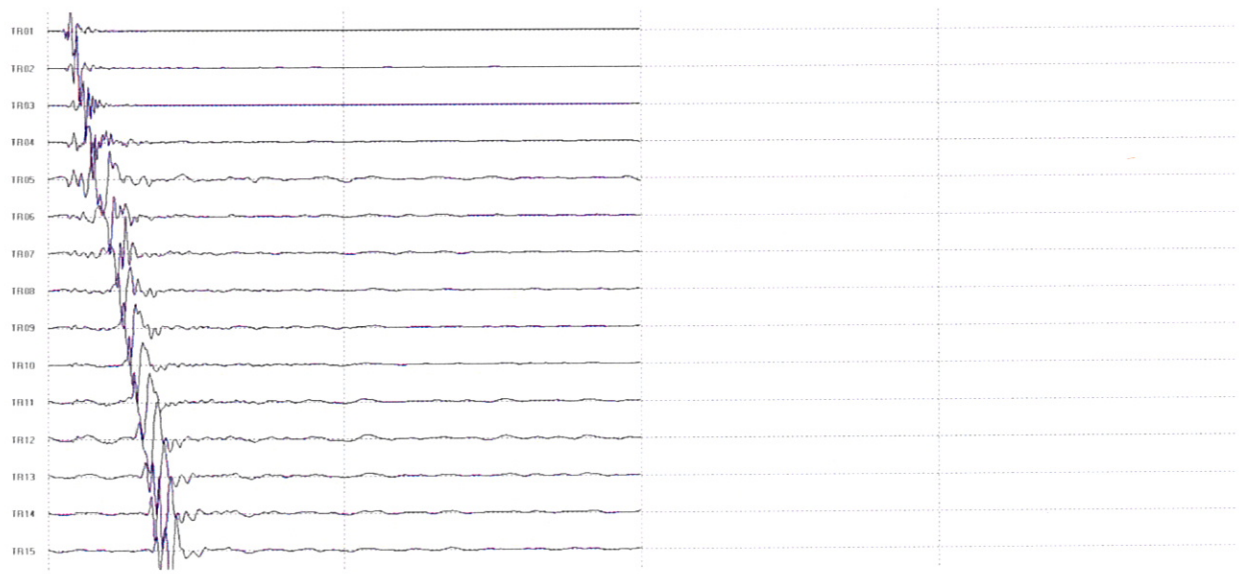


Figura 1: Arrivo delle onde ai vari geofoni a seguito del processo di stacking

L'elaborazione di questi dati prevede i seguenti passaggi ed è stata effettuata tramite software *Grilla*, in dotazione allo strumento, con cui è possibile effettuare analisi spettrali e analisi HVSR (in funzione del tempo ed in funzione della direzione):

1. Creazione degli spettri della velocità di fase: dell'intero arrivo delle onde viene scelta una finestra contenente le onde superficiali;
2. Determinazione dello spettro di velocità di fase della finestra scelta;
3. Individuazione della curva di dispersione;
4. Creazione del modello di inversione per la determinazione delle velocità delle onde S.

2.4 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

La figura 2 mostra lo spettro delle velocità di fase registrato nell'area in oggetto.

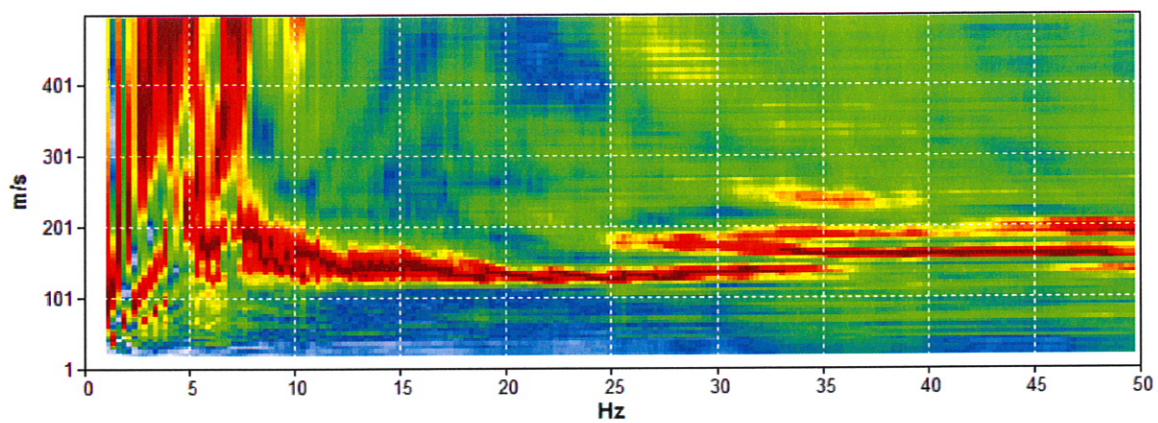


Figura 2: Spettro della velocità di fase rilevato dall'indagine MASW

Dallo spettro di velocità è possibile notare la presenza del modo fondamentale per frequenze superiori a 8 Hz. Si osservano inoltre alcuni salti a modi superiori per frequenze comprese tra 8 Hz e 13 Hz e per frequenze superiori a 25 Hz.

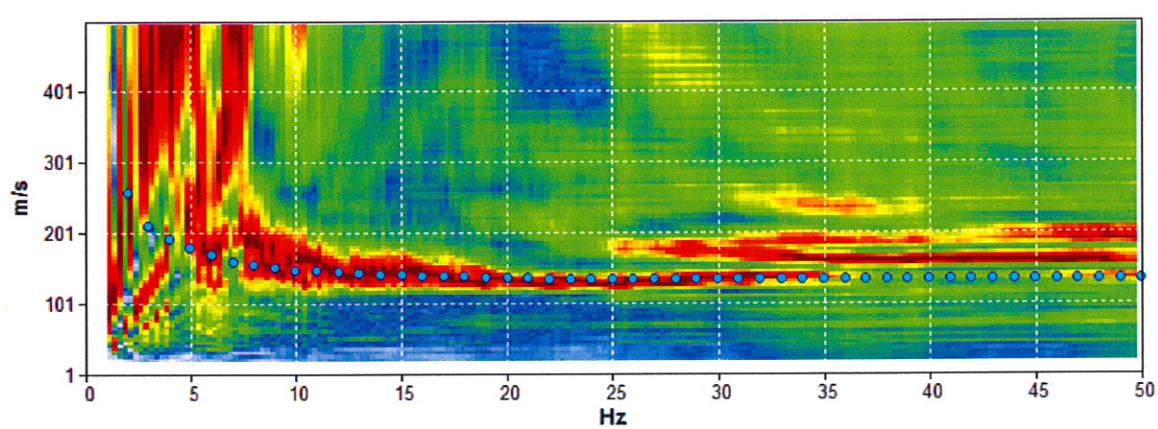


Figura 3: Spettro della velocità di fase rilevato dall'indagine MASW e curva del modello di dispersione

Il processo di inversione effettuato per stimare la velocità delle onde S porta al tracciamento della curva a punti azzurri sopra esposta, la quale deve risultare il più possibile sovrapposta alla zona di massima intensità dello spettro riferita al modo fondamentale, ovvero alla curva di dispersione.

Da tale modello di inversione sono state ricavate le velocità delle onde S nei primi strati di seguito esposti.

	Profondità (m)	V_S (m/sec)
Strato sismico 1	0.0 – 1.5	150
Strato sismico 2	1.5 – 3.0	130
Strato sismico 3	3.0 – 12.0	160
Strato sismico 4	12.0 – 40.0	220
Strato sismico 5	40.0 – 100.0	320
Strato sismico 6	100.0 – 270.0	400
Strato sismico 7	a 270.0	520

L'individuazione delle velocità degli strati sismici 5, 6 e 7 è stata determinata tramite le registrazioni effettuate con il sismografo digitale Tromino in coppia alla tecnica MASW.

È stato così possibile registrare le seguenti curve H/V che, grazie al codice del software *Grilla* di elaborazione dati, hanno permesso di creare una curva H/V sintetica e conseguentemente di stimare l'andamento della velocità nella verticale di indagine degli strati sismici 5, 6 e 7.

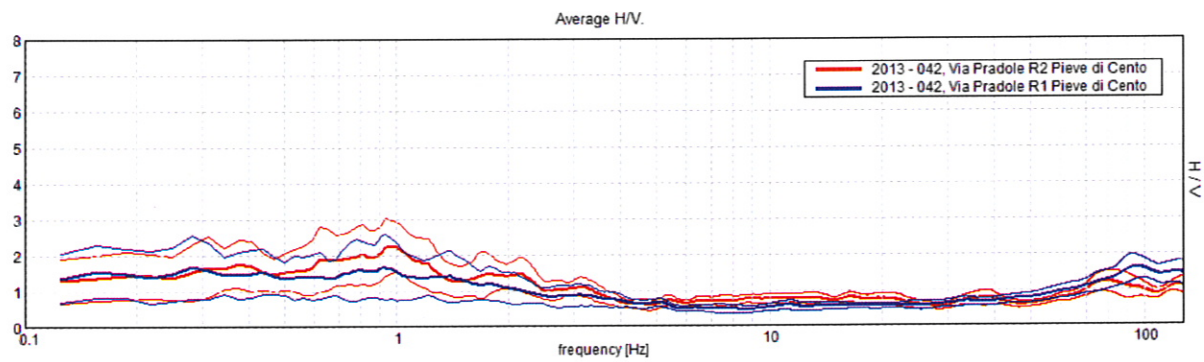


Grafico 1: Diagrammi HVSR indicanti gli spettri del moto del suolo rilevati nelle registrazioni R1 e R2

3. INDICAZIONE DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DEL TERRENO

Volendo completare l'aspetto sismico di questi risultati non ci si può esimere dall'affrontare il fenomeno di doppia risonanza che viene a crearsi in caso di terremoto quando i valori della frequenza di risonanza del terreno e quelli della struttura costruita su esso coincidono. Ciò comporta un effetto massimo di amplificazione del sisma con possibile conseguente danneggiamento o crollo della struttura. Nel rispetto di questo ragionamento, in base ai risultati esposti nel grafico 1, risulta pertanto consigliata in fase di progettazione della struttura la considerazione dei picchi maggiori indicanti le frequenze di risonanza del terreno tra 0.25 Hz e 1.5 Hz, a 2 Hz ed a 3.2 Hz e le eventuali variazioni in frequenza che questi possono avere al variare della profondità di quota della fondazione.

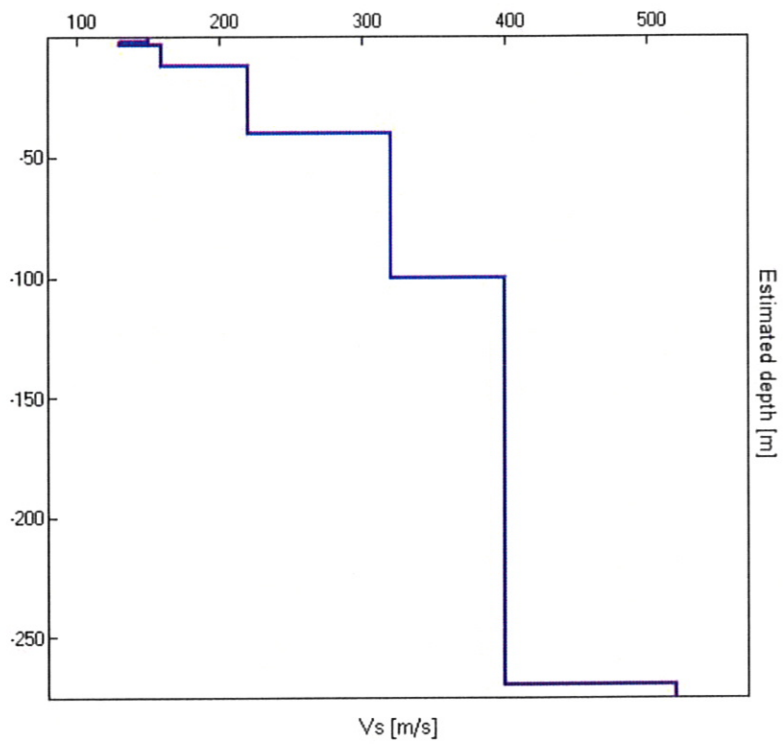
4. INDICAZIONE DEL SUBSTRATO SISMICO

Il *substrato sismico* viene definito come lo strato sismico in cui V_S risulta maggiore o uguale ad 800 m/s.

Il software di elaborazione dei dati registrati con il tromografo digitale Tromino comprende un codice che simula le onde di superficie (Rayleigh e Love). Ciò permette di creare una curva H/V sintetica e conseguentemente stimare l'andamento della velocità nella verticale di indagine.

Ovviamente questo approccio può essere basato solo su una buona conoscenza della stratigrafia, per lo meno superficiale, ed in particolare sulla profondità di almeno un riflettore sismico utile ad ancorare le frequenze della curva HVSR.

Nel caso in esame si è ottenuto il seguente profilo di velocità:



Dati i contenuti contrasti sismici la prova non è stata in grado di poter definire la profondità del bedrock sismico. Nel caso questa dovesse servire per studi approfonditi si dovrà dunque procedere per interpolazione a partire dal presente modello di velocità.

5. VALUTAZIONE DEL PARAMETRO VS30

Sulla base dei risultati ricavati nel paragrafo 2.4, ed in accordo con l'attuale normativa, viene calcolato il valore del parametro V_{S30} tramite la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum i=1,N \frac{hi}{V_{si}}}$$

Da cui, a seconda della profondità dal piano campagna dell'intervento che verrà effettuato nell'area in esame, si ottiene:

$V_{S30\ (0.0 \div 30.0)}$= 188 m/sec

$V_{S30\ (1.0 \div 31.0)}$= 190 m/sec

$V_{S30\ (2.0 \div 32.0)}$= 194 m/sec

$V_{S30\ (3.0 \div 33.0)}$= 198 m/sec

$V_{S30\ (4.0 \div 34.0)}$= 200 m/sec

6. CONCLUSIONI

I risultati dell'indagine sismica MASW e delle registrazioni dei microtremori vengono sinteticamente esposti di seguito:

VALORI DI V_{S30}: A seconda della profondità dal piano campagna dell'intervento che verrà effettuato nell'area in esame si ottiene:

$$V_{S30\,(0.0\div30.0)} = 188 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30\,(1.0\div31.0)} = 190 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30\,(2.0\div32.0)} = 194 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30\,(3.0\div33.0)} = 198 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30\,(4.0\div34.0)} = 200 \text{ m/sec}$$

FREQUENZE DI RISONANZA: Per evitare fenomeni di doppia risonanza in caso di evento sismico risulta consigliata in fase di progettazione della struttura la considerazione dei picchi maggiori indicanti le frequenze di risonanza del terreno tra 0.25 Hz e 1.5 Hz, a 2 Hz ed a 3.2 Hz e le eventuali variazioni in frequenza che questi possono avere al variare della profondità di quota della fondazione.

Lo scrivente resta a disposizione per qualsiasi ulteriore chiarimento o caso dubbio.

Zola Predosa, 11 Novembre 2013

Geologo Mirko Sita

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

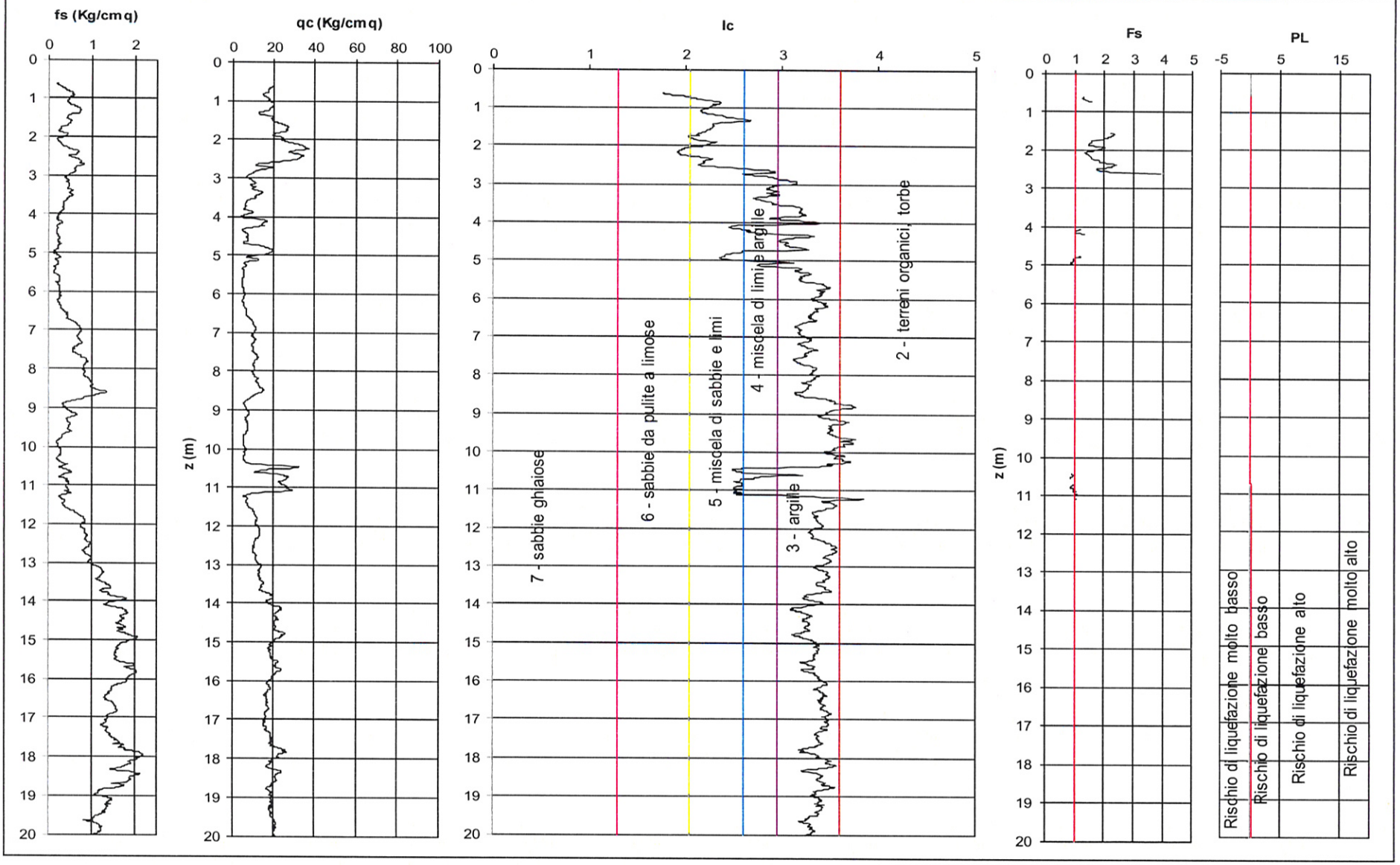
Schema verifica rischio liquefazione

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

2013.109/RG

CPTU (piezo cone penetration test) **1** Committente : Alberghini Berta Cantiere: Pieve di Cento (BO) via Pradole Codice Lavoro 2013.155

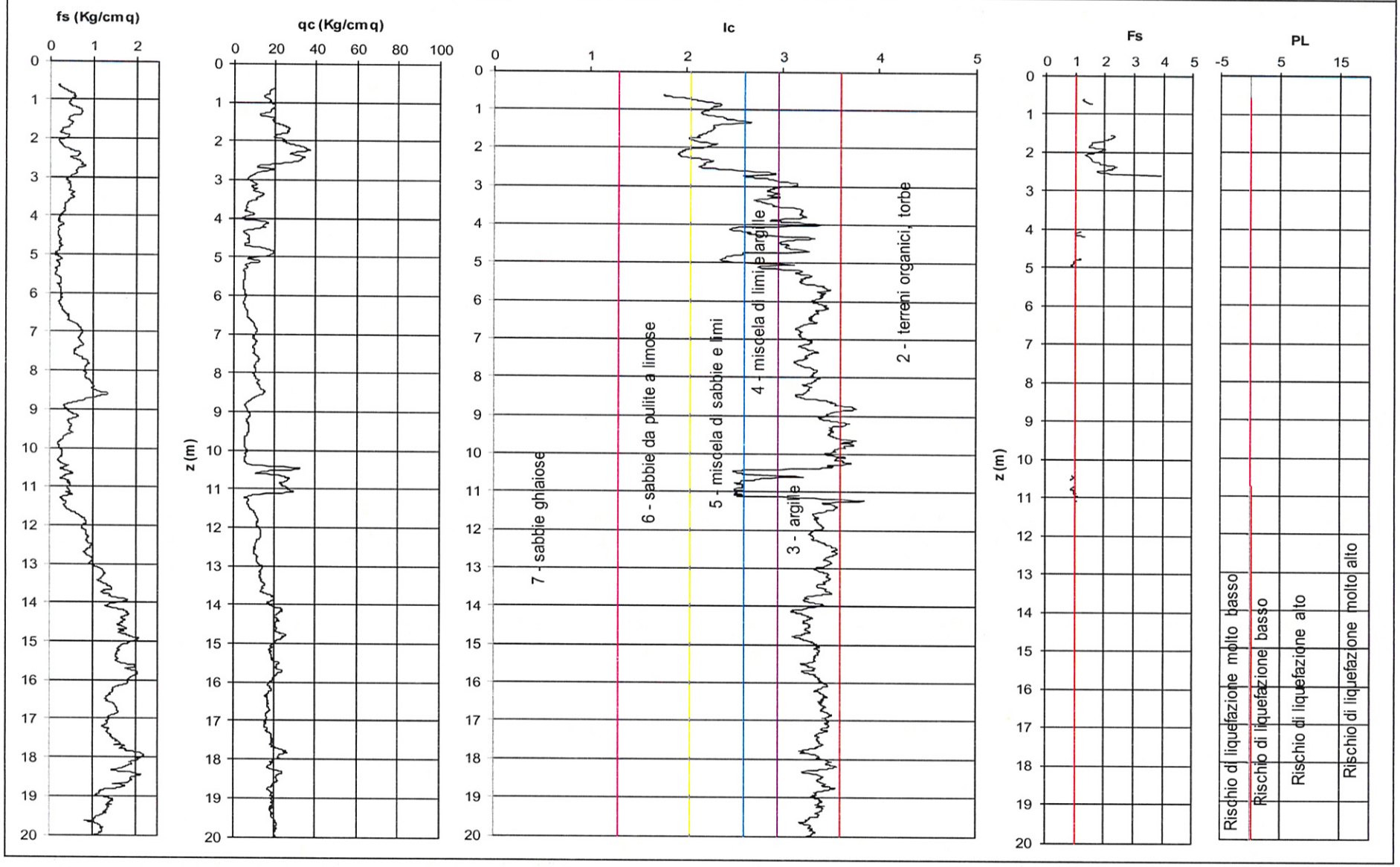


Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

2013.109/RG

CPTU (piezo cone penetration test) 1 Committente : Alberghini Berta Cantiere: Pieve di Cento (BO) via Pradole Codice Lavoro 2013.155



Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

2013.109/RG

CPTU (piezo cone penetration test) **3** Committente : Alberghini Berta Cantiere: Pieve di Cento (BO) via Pradole Codice Lavoro 2013.155

