



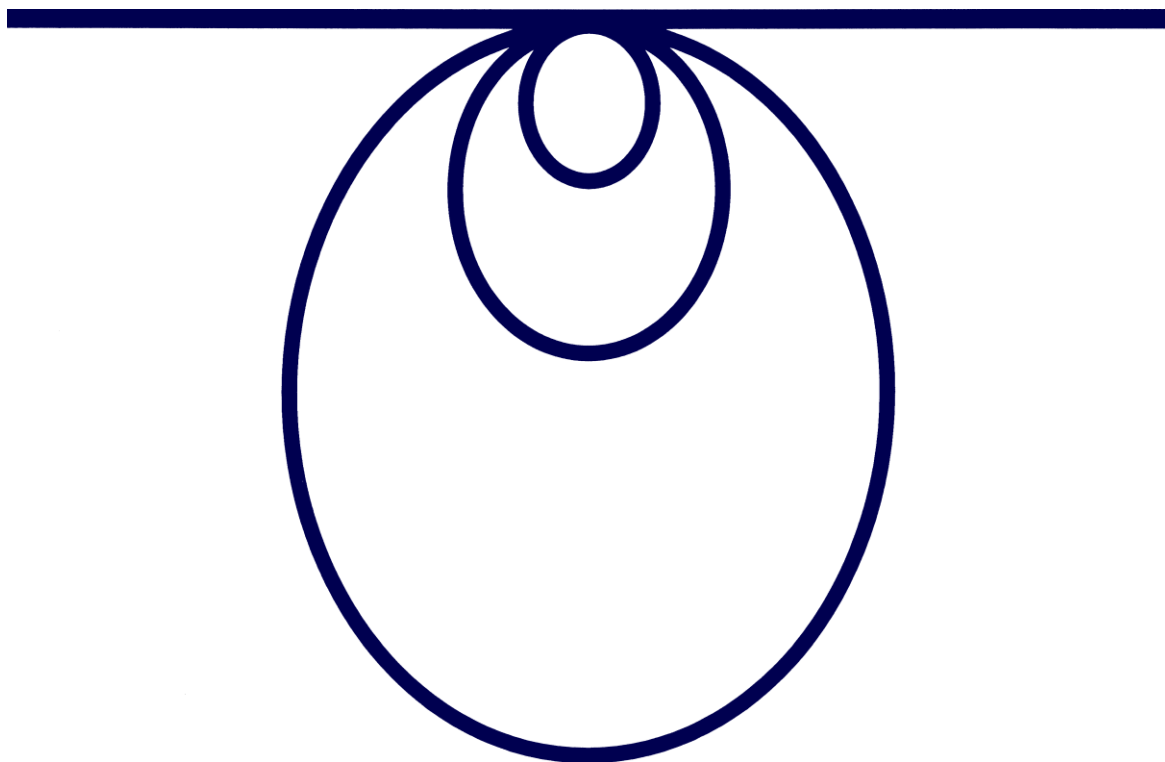
Provincia di Parma

Servizio Edilizia Scolastica e Patrimonio

***Progetto di miglioramento sismico
dell'Istituto "IPSIA Primo Levi"
in Piazzale Sicilia n° 5 a Parma***

Relazione geologica, geomeccanica e sismica

Maggio 2020

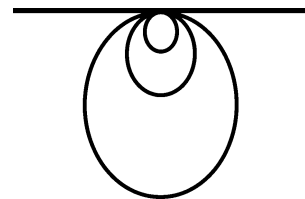


STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI - 42124 REGGIO EMILIA - VIA EMILIA ALL'ANGELO, 14
TEL. e FAX. 0522 934730 – E-mail: geolog@geolog-sc.it
Partita IVA e Codice Fiscale n. 02790320358



STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI

DI MAMBRINI – FARIOLI – CASSINADRI – CAMPIOLI - CASALI
42124 REGGIO EMILIA – VIA EMILIA ALL'ANGELO, 14
TELEFONO E FAX: 0522.934730
E.MAIL: GEOLOG@GEOLOG-SC.IT
P.IVA E C.F..02790320358



Provincia di Parma
Servizio Edilizia Scolastica e Patrimonio

**Progetto di miglioramento sismico
dell'Istituto "IPSIA Primo Levi"
in Piazzale Sicilia n° 5 a Parma**

Relazione geologica, geomeccanica e sismica

Maggio 2020

GEOLOGIA APPLICATA

Indice

GEOFISICA

GEOTECNICA

IDROGEOLOGIA E
IDROLOGIA

MODELLI MATEMATICI

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3	INQUADRAMENTO GEO-IDROLOGICO	3
4	SONDAGGI	3
5	STRATIGRAFIA	9
6	ELABORAZIONE DEI CPT	10
7	NOTE DI GEOLOGIA APPLICATA	12
7.1	Micropali	12
7.2	Fondazioni esistenti	23
8	MODELLAZIONE SISMICA DI BASE	23
8.1	Effetti sismici locali	25
8.1.1	Approccio semplificato	25
8.1.2	Approccio rigoroso	30
9	EFFETTI CO-SISMICI	33
9.1.1	Verifica rischio liquefazione	33
10	FREQUENZA FONDAMENTALE DEL TERRENO	38

Allegato

1. Report indagine geofisica (MASW+ HVSr)



1 PREMESSA

L'Amministrazione Provinciale di Parma ha in progetto il miglioramento sismico dell'Istituto IPSIA "Primo Levi", che si trova in Piazzale Sicilia n° 5 a Parma.

La figura 1 riporta un'immagine aerea del complesso scolastico.



figura 1

In accordo con il Progettista incaricato, Ing. Claudio Torreggiani, si è ritenuto di approfondire la conoscenza dell'assetto stratigrafico e geomeccanico dei terreni che interagiscono con le fondazioni, in vista di eventuali interventi strutturali.

Ovviamente è d'interesse anche l'argomento della pericolosità sismicità locale e in particolare la determinazione delle azioni sismiche di progetto.

Lo studio è stato condotto in accordo con i principi delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC 2018).

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Istituto si trova all'interno del perimetro urbano della città, nel quadrante Nord-Est del capoluogo.

L'urbanizzazione ha modificato i lineamenti originari, che non sono più leggibili; d'altra parte la città ricade nella Media Pianura, a morfologia piatta.

La quota altimetrica è intorno a 48 m sul livello del mare medio.

Il centro dell'area in esame è individuato dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.805761° - Longitudine: 10.343670° (Datum ED50).

3 INQUADRAMENTO GEO-IDROLOGICO

Le prove penetrometriche statiche (CPT) effettuate nel Dicembre 2019 dal collega Dr. Luca Calzolari nell'area verde in cui è prevista la costruzione della nuova palestra dell'Istituto, indicano che il primo sottosuolo è costituito in prevalenza da terre fini (argille e limi talora sabbiosi).

Tale assetto dovrebbe persistere ben oltre lo spessore indagato da quelle prove (- 12 m dal p.c.), fino ad un primo materasso ghiaioso, che i dati disponibili nella zona collocano tra -17 e - 26 m di profondità.

Le terre fini rappresentano depositi per decantazione da acque stagnanti, ascrivibili alle esondazioni dei corsi d'acqua (Torrenti Parma e Baganza) che anticamente divagavano nella piana, in via d'accrescimento grazie ai loro apporti sedimentari, mentre i terreni grossolani costituiscono paleo-alvei sepolti.

Il processo si sovrappose alla subsidenza generalizzata della Valle Padana, consentendo l'accumulo d'alluvioni continentali per diverse centinaia di metri.

Numerosi studi geologici trattano compiutamente la materia, che qui non è il caso di riassumere, giacché il nostro interesse riguarda un breve istante di quelle dinamiche regionali, ovviamente prescindendo dai riflessi sismici dell'attività tettonica profonda, vale a dire i terremoti.

Sotto il profilo idrogeologico, le ghiaie sepolte spesso sono sede di acquiferi semi-confinati da strati discontinui di terre fini.

4 SONDAGGI

Considerata la natura dei terreni, si ritenne di procedere utilizzando la prova penetrometrica statica (CPT), in grado di fornire sia notizie stratigrafiche sia i numeri di base per la caratterizzazione meccanica.

La sonda utilizzata, della ditta individuale Pancani Rolando di Savignano sul Panaro (MO), è un penetrometro di scuola olandese, di spinta nominale pari a 200 kN, installato su autocarro SCAM.

Con il Progettista si convenne di sondare quattro verticali, ubicate come indicato in figura 2.

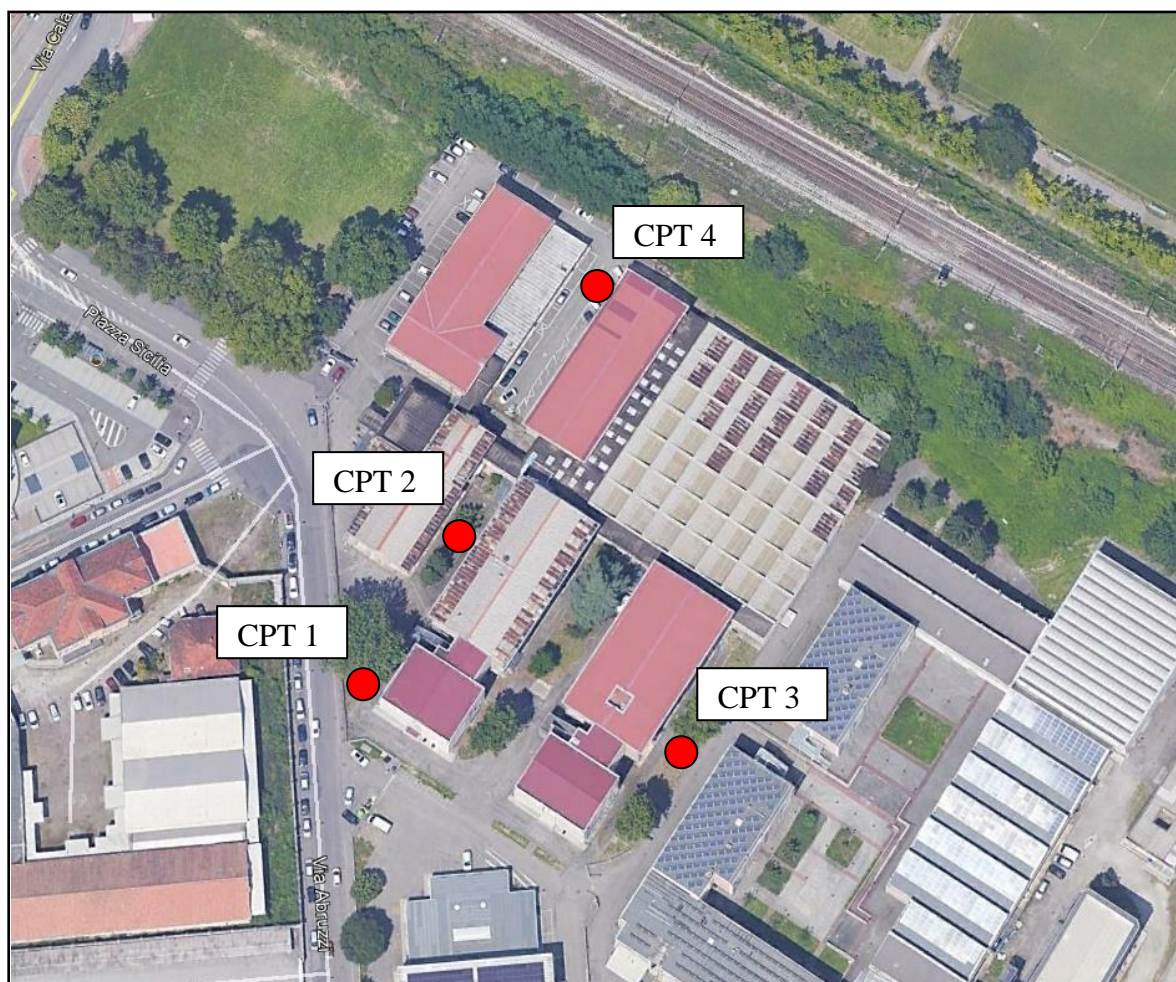


figura 2: ubicazione CPT

Le prove furono protratte fino al limite strumentale del mezzo, incontrato a profondità comprese tra - 18.4 e - 19.8 m dalla superficie.

I dati di campo sono diagrammati nelle figure 3÷6, assieme ad alcune immagini della macchina operatrice.

Al termine delle prove, nei fori di sondaggio si è rilevata la presenza di acqua, a quote comprese tra - 1.7 e - 2.3 m dalla superficie; si tratta del livello piezometrico di una falda ospitata negli orizzonti ghiaiosi profondi.

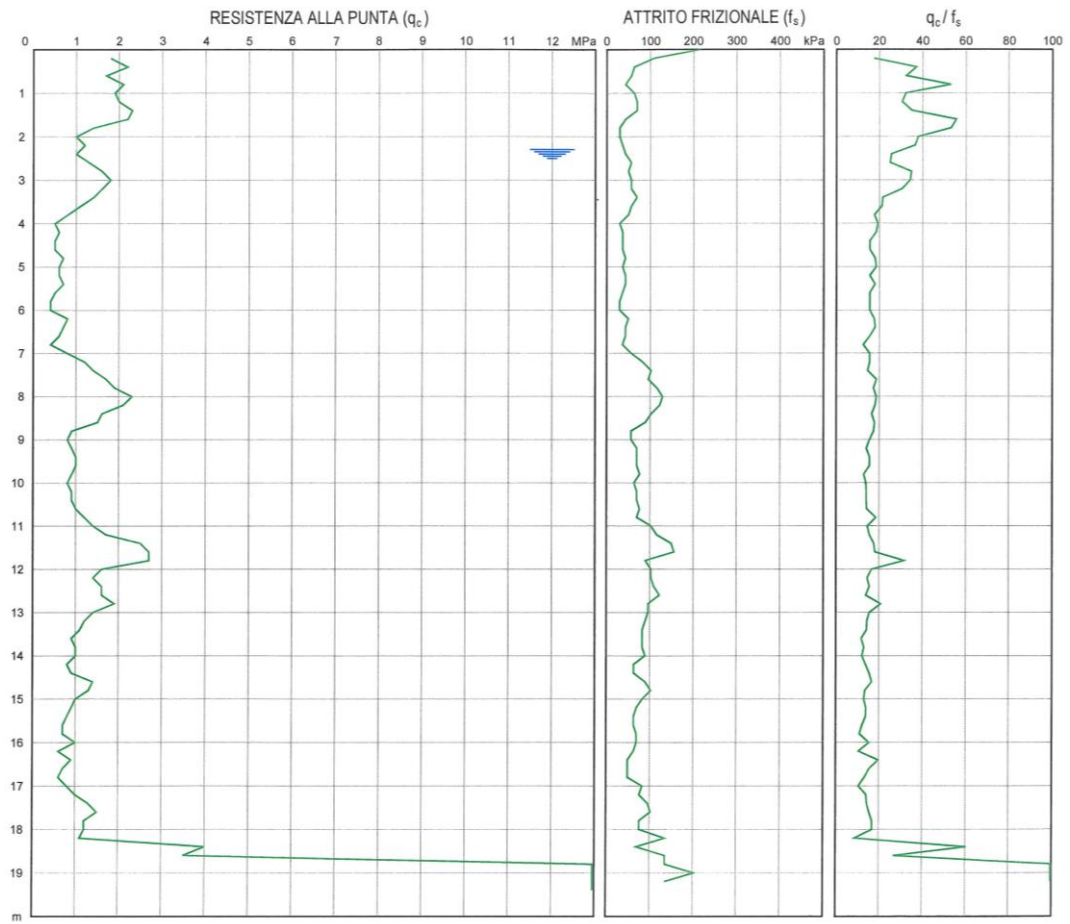


figura 3: CPT 1

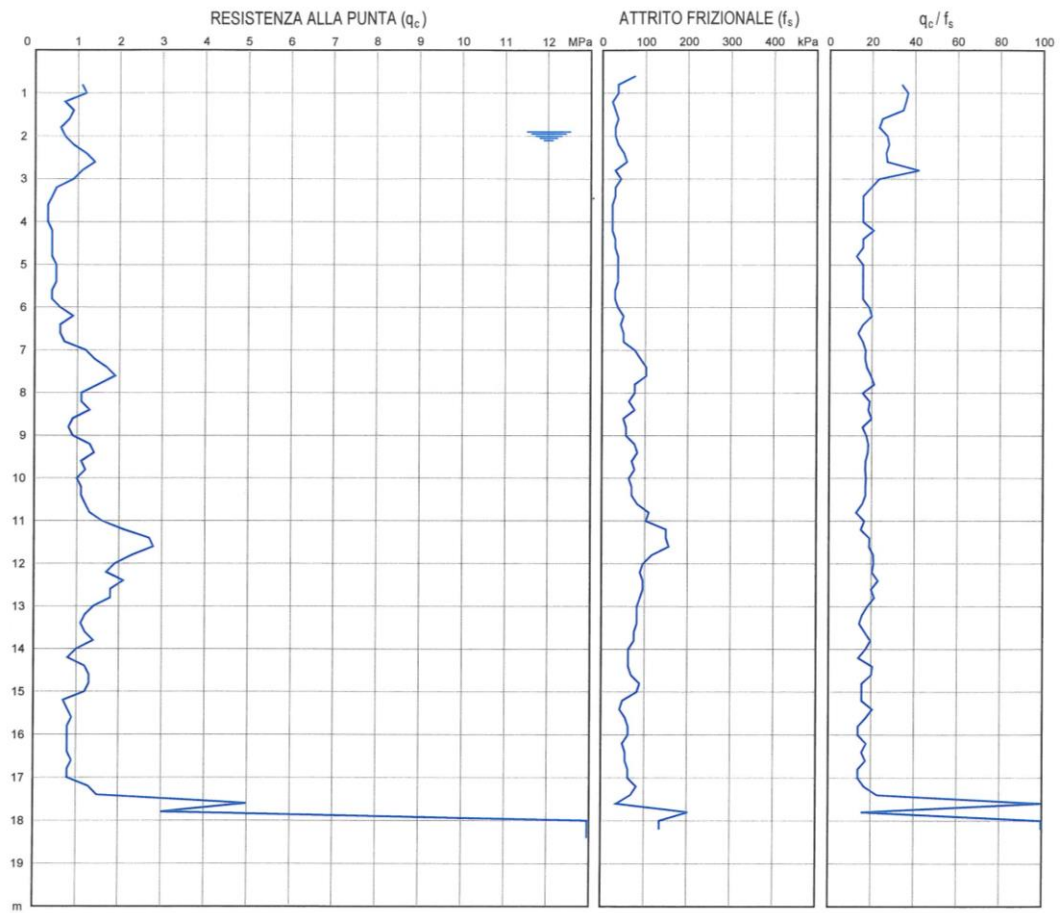


figura 4: CPT 2

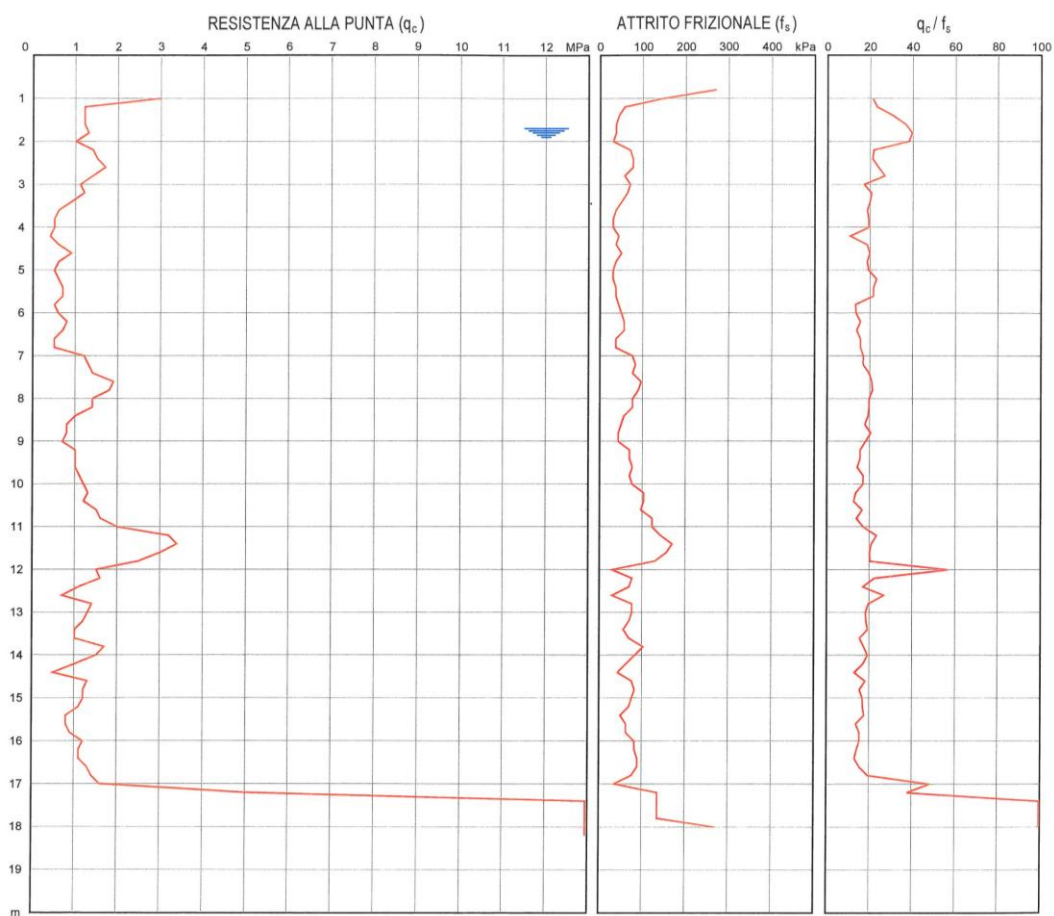


figura 5: CPT 3

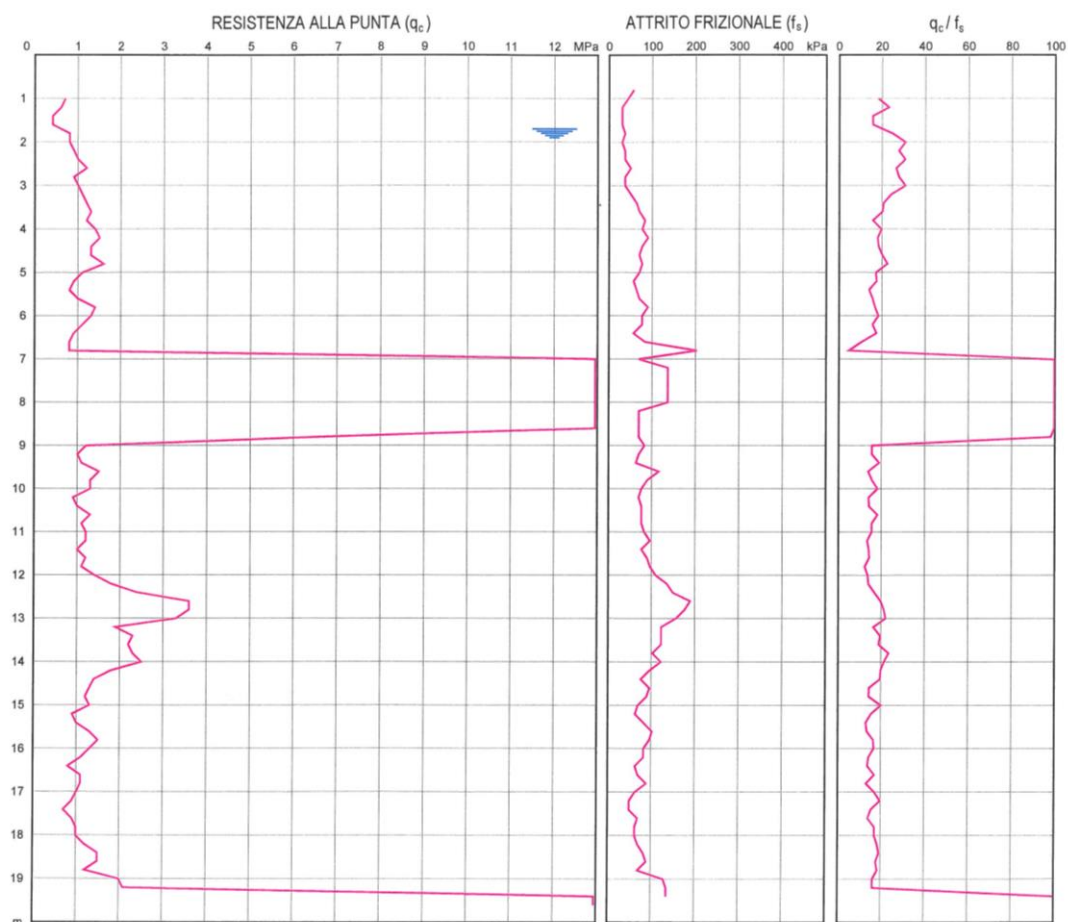


figura 6: CPT 4

5 STRATIGRAFIA

Nella figura 7 si propone l'involuppo dei diagrammi CPT, tenendo conto dei dislivelli tra le quote 0 d'inizio delle prove.

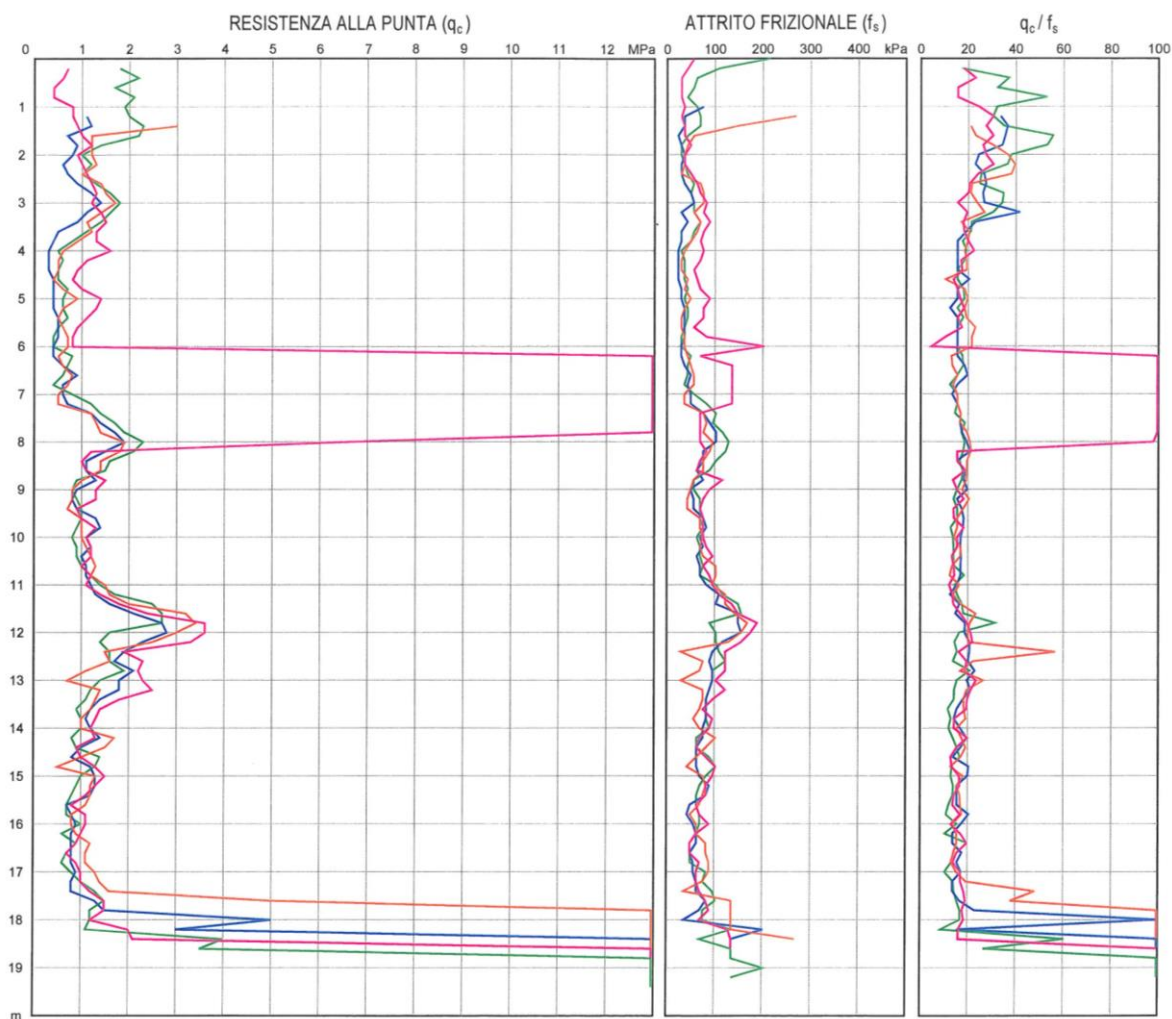


figura 7: involuppo q_c delle prove CPT

La buona sovrapposizione delle curve indica un assetto stratigrafico e geomeccanico isotropo in senso orizzontale; fa eccezione il picco registrato solo da CPT 4 tra - 6 e - 8 m di profondità.

In pratica il volume indagato è costituito da argilla fino a - 17÷18 m; fa eccezione lo spesso strato di ghiaia segnalato dal suddetto picco di CPT 4, oltre a sottili livelli di sabbia tra - 11 m e - 13 m.

In profondità l'avanzamento del puntale fu interrotto da un materasso di ghiaia, perforato per non più di 1 m.

L'omogeneità riscontrata è confortante sotto il profilo dell'interazione terreno-struttura, giacchè prelude ad un comportamento uniforme a parità di sollecitazioni.

6 ELABORAZIONE DEI CPT

Dai valori q_c (resistenza alla punta), f_s (resistenza d'attrito laterale locale) e q_c/f_s in ragione della profondità, si possono trarre utili indicazioni geomeccaniche.

Per i terreni coesivi si può risalire alla resistenza a taglio del terreno, seppur limitatamente alle condizioni di sforzo totale (vale a dire la coesione non-drenata c_u) ed allo stato di consolidazione.

La coesione non drenata è derivata dall'espressione empirica:

$$c_u = \lambda (q_c - \sigma_{v0}) / (q_c/4 + 17.5)$$

con:

q_c espressa in bar,

$\lambda = 0.75$ per i loams,

$\lambda = 1.00$ per le argille "magre",

$\lambda = 1.25$ per le argille "grasse",

$\lambda = 1.50$ per le torbe e le terre miste,

σ_{v0} = tensione litostatica totale, stimata sulla scorta dei più probabili pesi di volume.

Dai valori c_u si può trarre in cascata il rapporto di sovraconsolidazione OCR; la relazione utilizzata per la stima è la seguente:

$$c_u / \sigma'_{v0} = (0.23 \pm 0.04) \text{OCR}^{0.8} \quad (\text{Ladd e Foot, 1974}).$$

I valori di c_u e OCR determinati sono involuppati nelle figure 8 e 9.

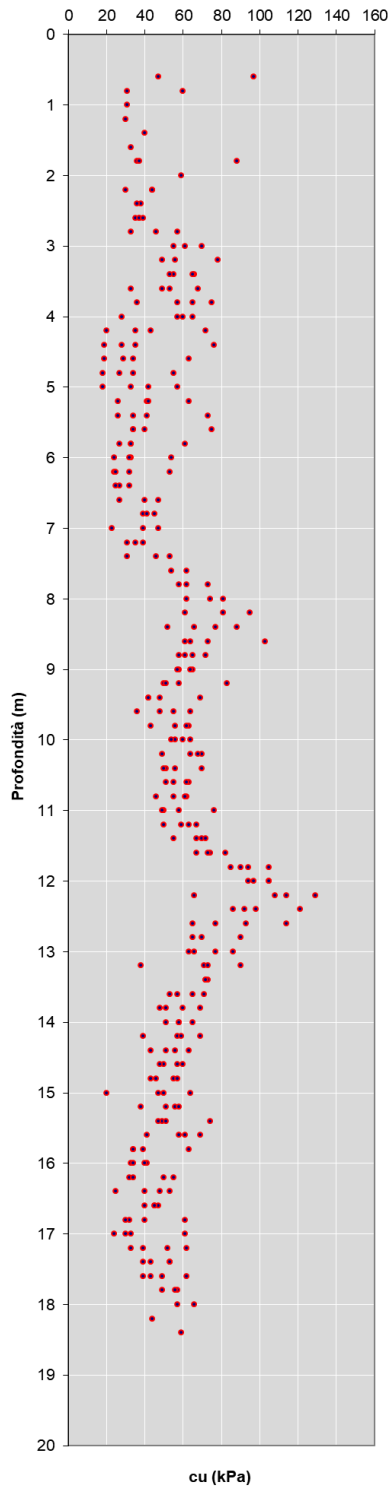


figura 8: involucro c_u

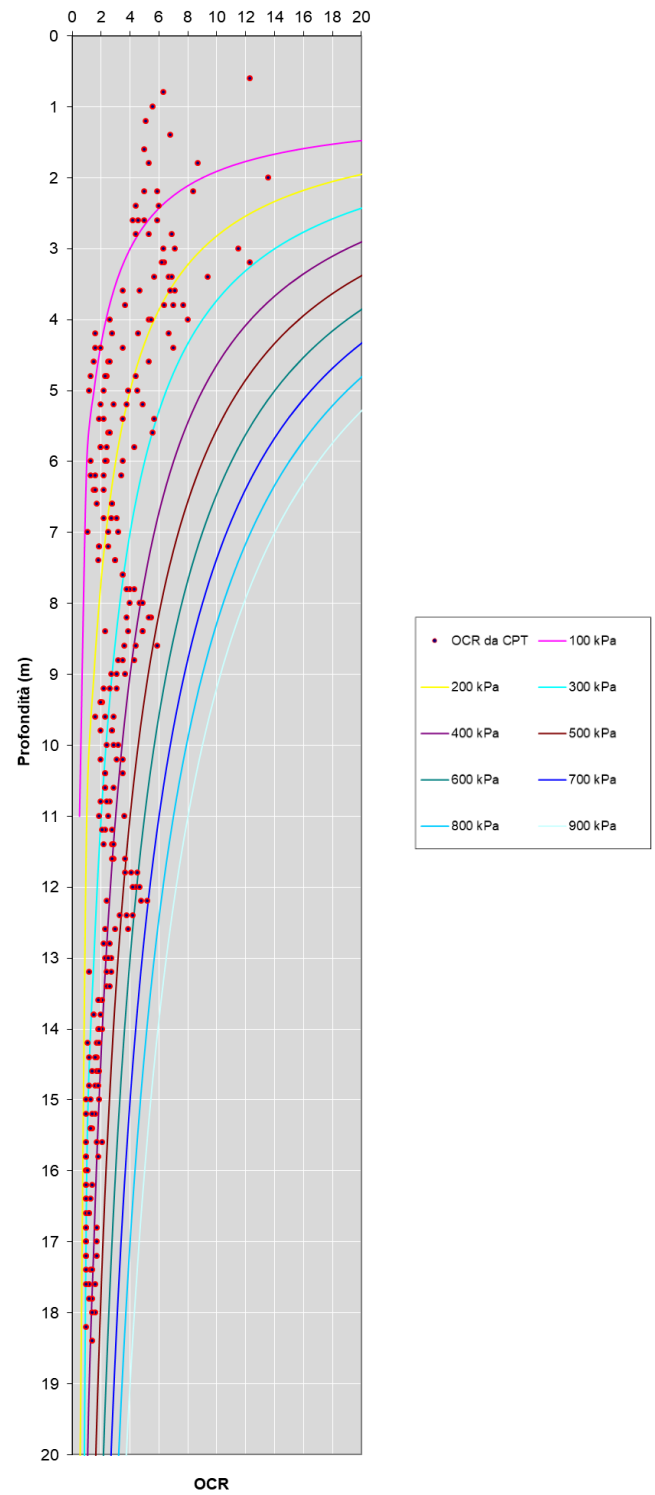


figura 9: involucro OCR

I valori della coesione non drenata sono medio-bassi fino a 7 m di profondità, con minimi di 30 kPa tra - 4 e - 7 m; si tratta di terreni fini di mediocre consistenza.

Più sotto fino a - 11 m i valori oscillano intorno a 60 kPa (media consistenza), incrementando poi fino a 120 kPa intorno a - 13 m.

Oltre quella quota i valori sono ancora medio-bassi (20÷60 kPa) fino al materasso di ghiaie profondo.

I terreni risultano sovraconsolidati ($OCR > 4$) fino a 4 m di profondità; il motivo non può che essere l'essiccamento sin-sedimentario, giacchè in questo tratto di Pianura Padana si devono escludere scarichi tensionali per erosione.

Localmente ha contribuito anche l'effetto essiccativo indotto dalla suzione degli apparati radicali delle piante che allignano nel cortile.

Poi OCR decresce fino a 13 m di profondità, dove si registra uno stato di normalconsolidazione ($OCR = 1$), che permane fino alle ghiaie profonde; ciò è ascrivibile all'incremento del tensione litostatica, che annulla gli effetti della desaturazione.

Nel diagramma OCR sono inserite anche le iperboli relative a scarichi tensionali teorici di entità variabile tra 100 e 900 kPa.

Si può notare che la nuvola dei punti giace come minimo sopra alla curva dei 100 kPa (di colore magenta), come affermare che quei terreni hanno sperimentato in passato un fenomeno equivalente all'asportazione di 1 kg/cm^2 .

Da tutto ciò si può trarre un'utile deduzione: imponendo in prossimità della superficie tensioni non eccedenti tale valore a fondazioni di modesta larghezza, la risposta sarà quella di un mezzo incrudito, dal quale è lecito attendersi deformazioni contenute.

Riguardo alle ghiaie profonde, non si può fare affidamento sulla loro continuità oltre l'esiguo spessore indagato; pertanto si trascurano in chiave geomeccanica, così come lo strato solitario intercettato da CPT 4 tra - 6 e - 8 m.

7 NOTE DI GEOLOGIA APPLICATA

7.1 Micropali

Secondo le indicazioni del Progettista, i possibili interventi di miglioramento sismico saranno effettuati all'esterno del fabbricato, giacchè sono precluse le manomissioni interne.

Ciò potrà richiedere la realizzazione di strutture che necessitano di nuove fondazioni; tra queste si annoverano i micropali trivellati.

Di seguito avanza una valutazione sommaria delle prestazioni d'attrito sfruttabili da tali fondazioni speciali, nelle condizioni di sforzo totale.

Bustamante e Doix, 1985¹ offrono la soluzione di calcolo per micropali trivellati IGU e IRS; IGU sta per iniezione a pressione generale unificata e IRS per iniezione ripetitiva e selettiva.

L'Autore presuppone il rispetto d'alcune condizioni operative; in particolare:

- IGU prevede un volume di malta iniettata pari a 1.5 volte il volume iniziale del foro e pressione d'iniezione unificata;
- IRS prevede un volume di malta pari a 2 volte il volume iniziale del foro e pressione d'iniezione controllata ad ogni valvola.

L'algoritmo di riferimento per il calcolo della prestazione di un micropalo è il seguente:

$$T_l = \pi \cdot D_s \cdot L_s \cdot q_s$$

dove

T_l = portata limite del micropalo
 D_s = diametro reso di perforazione
 L_s = lunghezza del palo
 q_s = resistenza sul fusto del palo

La resistenza ultima dell'attrito laterale (q_s) è tratta dal diagramma in figura 10 (le sigle AL.1 e AL.2 si riferiscono rispettivamente alle modalità IGU e IRS).

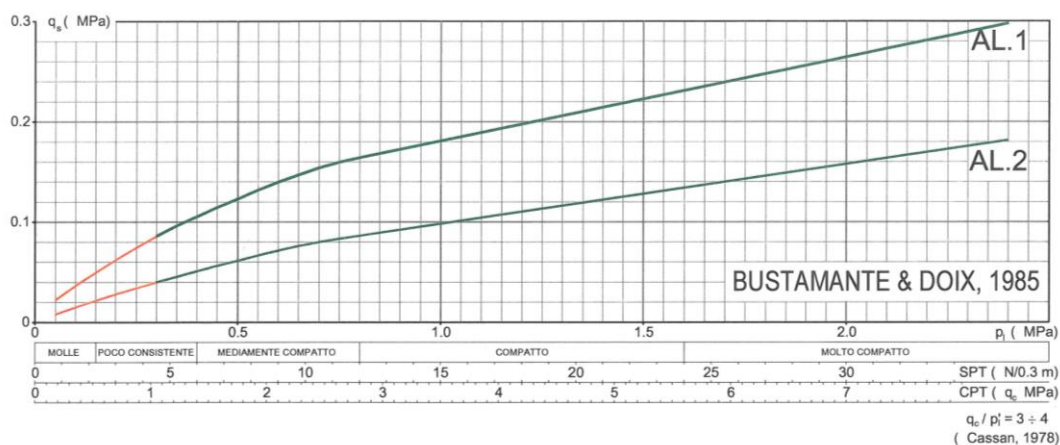


figura 10

¹ Bulletin de liaison ses Laboratoires des Ponts et Chaussées N. 140.

Come si vede, il parametro q_s si ricava facendo riferimento a p_l (*pression limit effective*) del pressiometro Menard oppure a N_{SPT} , misure non disponibili per i terreni di nostro interesse.

Tuttavia, secondo Cassan, 1978, per terreni i coesivi vale la relazione:

$$q_c/p_l = 3/4$$

che consente l'utilizzo alternativo della resistenza alla punta q_c da prove CPT.

A questo approccio ho aggiunto il calcolo relativo a micropali realizzati tramite il getto a pressione ambiente (IPA); in questo caso si sfrutta la coesione non drenata c_u e l'adesione palo-terreno.

La resistenza frizionale è derivabile dal diagramma seguente (figura 11), che fornisce il moltiplicatore di c_u per calcolare l'adesione (a).

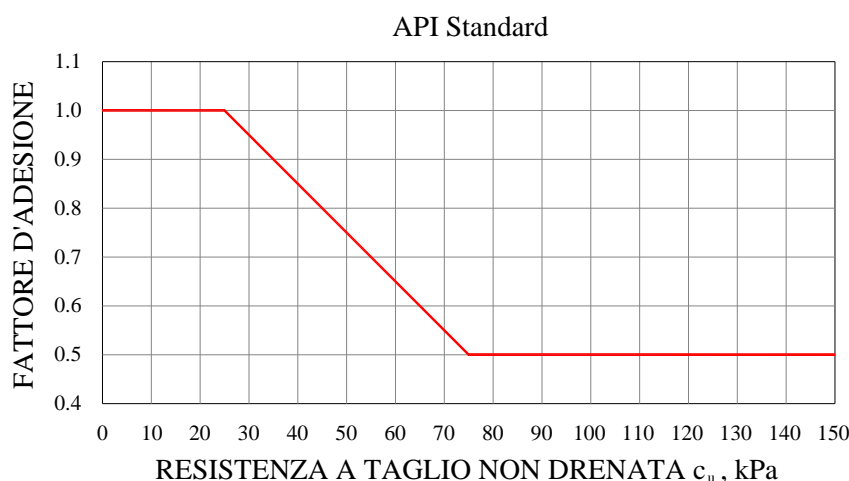


figura 11

Per ottenere parametri *caratteristici*, ho incolonnato sia i dati di q_c ottenuti da ogni prova, sia i valori di c_u ricavati dall'interpretazione, calcolando poi le MEDIE lungo le righe della matrice ed isolando i MINIMI dell'intero complesso.

Infine ho mediato tra loro ciascuna media e ciascun minimo, classificando i risultati come "II MEDIA".

La II MEDIA è intesa a perseguire la dizione "ragionevolmente conservativa" della Norma, quando si assimili l'intero substrato ad un mezzo trasversalmente isotropo, come nel caso in questione.

I grafici delle figure 12÷13 sintetizzano il risultato dell'elaborazione

Come si vede, non ho tenuto conto dei valori nel primo metro, prevedendo d'immorsare le teste dei micropali ad una struttura di collegamento.

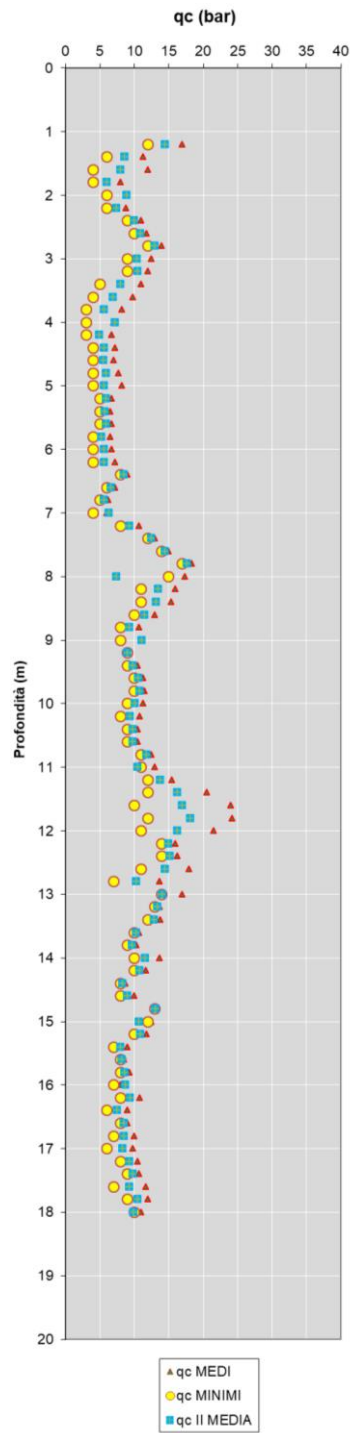


figura 12: inviluppo q_c

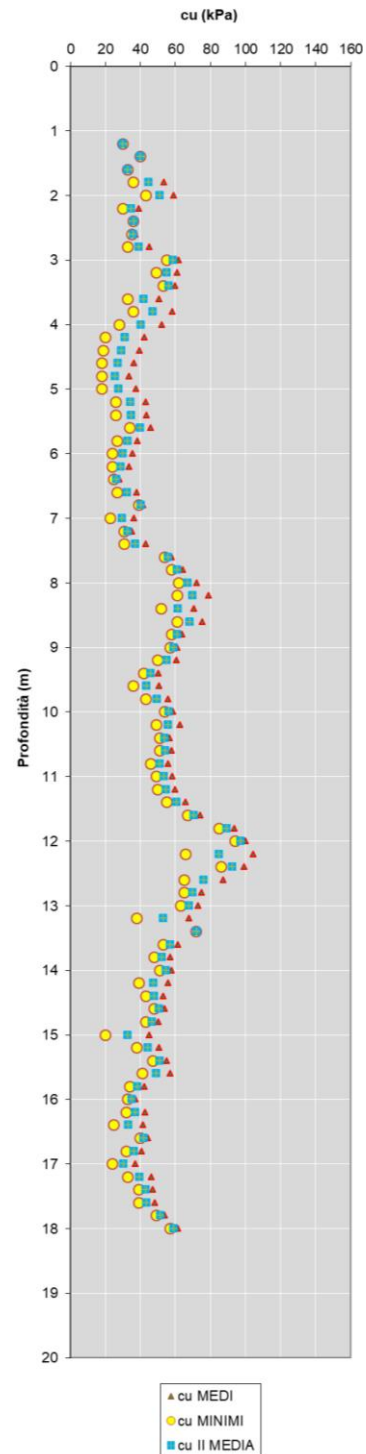


figura 13: inviluppo c_u

Riguardo alla geometria dei micropali, ho considerato un diametro reso $\phi = 200 \div 250$ mm (suggerito dal Progettista), giocando sulla lunghezza e sulle modalità di getto già descritte.

Secondo le *NTC 2018*, relativamente alle resistenze dei pali di fondazione, per lo Stato Limite Ultimo di tipo geotecnico non è da mettere in conto la riduzione dei parametri di base, pertanto si assumono come caratteristici i valori geotecnici medi e minimi definiti sopra.

D'altra parte alle resistenze caratteristiche calcolate (portanza ultima) ho applicato un fattore di sicurezza $R3 = 1.15$ relativo alla resistenza laterale (tab. 6.4.II di *NTC 2018*) ed i fattori di correlazione $\xi_3 = 1.55$ e $\xi_4 = 1.42$ (rispettivamente ai valori medio e minimo), considerando il numero delle verticali indagate (tab. 6.4.IV di *NTC 2018*).

Il calcolo è riferito al singolo elemento; per il gruppo di pali occorrerà mettere in conto una congrua decurtazione della sommatoria.

A questo scopo si può utilizzare la regola di Feld, che prevede la decurtazione di $1/16$ della resistenza singola per ogni palo posto nelle vicinanze (vedi figura 14).

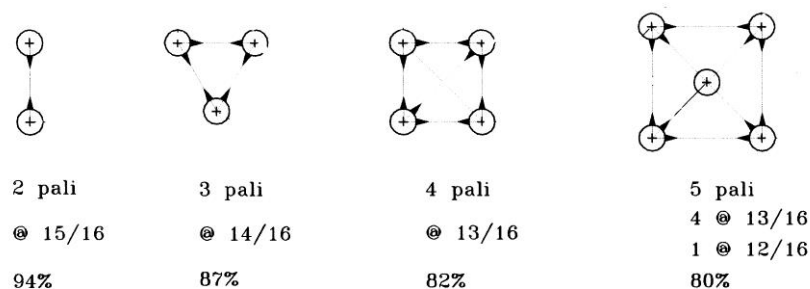
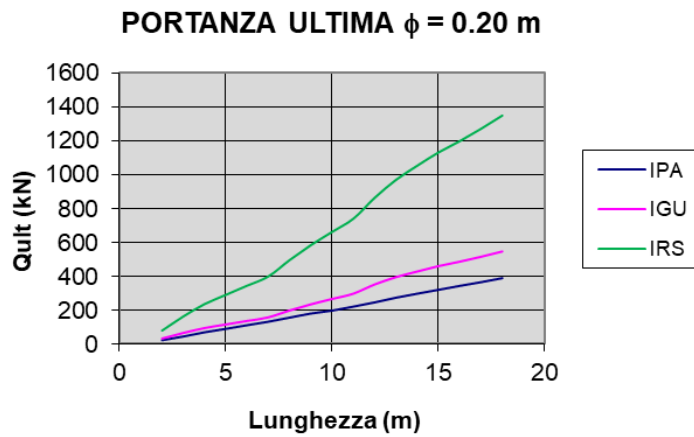
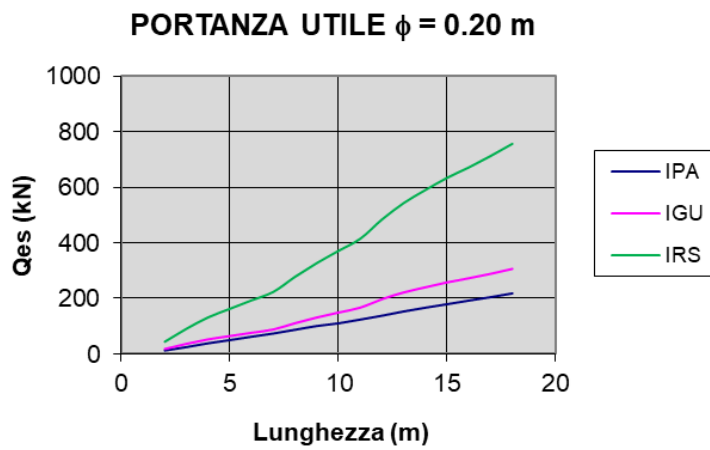


figura 14

Le figure 15÷20 seguenti riportano la casistica in merito; aggiungo anche i tabulati del calcolo, per una maggiore comprensione.

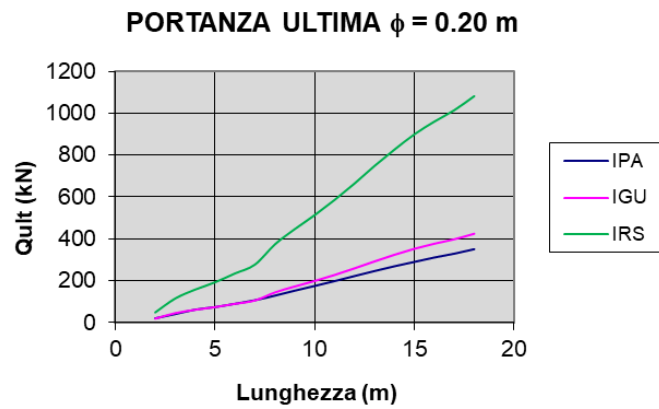


prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	22	32	78
3	44	65	162
4	68	93	235
5	89	115	289
6	111	136	344
7	131	157	398
8	155	198	495
9	179	234	583
10	197	265	661
11	220	297	740
12	245	351	863
13	273	394	968
14	296	428	1052
15	319	459	1130
16	342	486	1197
17	364	514	1270
18	388	546	1348

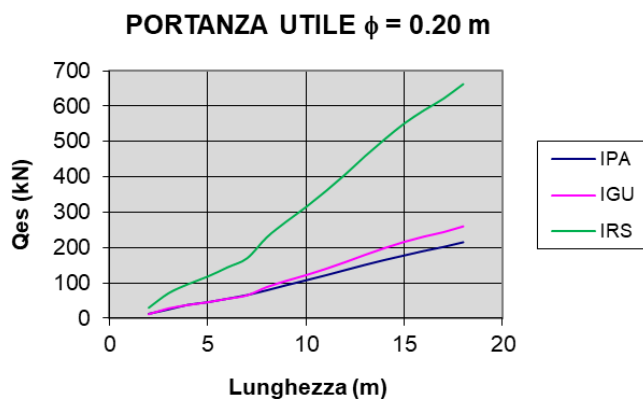


prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	12	18	44
3	25	36	91
4	38	52	132
5	50	64	162
6	62	76	193
7	73	88	224
8	87	111	278
9	101	131	327
10	110	149	371
11	124	167	415
12	137	197	484
13	153	221	543
14	166	240	590
15	179	258	634
16	192	272	672
17	204	288	713
18	218	306	757

figura 15: valori medi

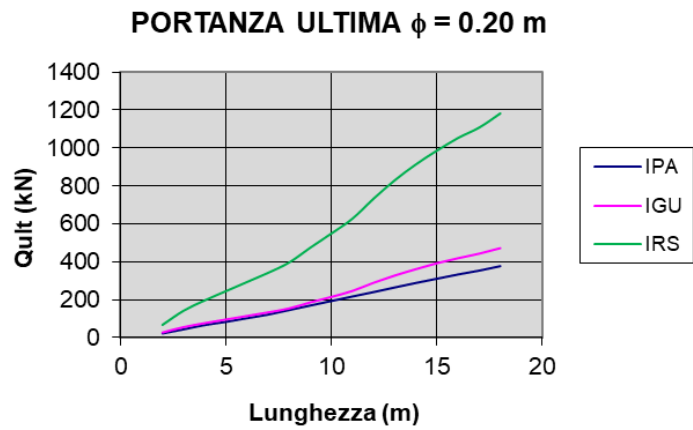


prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	20	19	48
3	41	45	115
4	62	61	157
5	74	74	193
6	90	90	235
7	107	106	277
8	129	144	374
9	153	173	447
10	175	199	514
11	198	228	587
12	223	259	665
13	246	293	749
14	269	324	827
15	290	353	900
16	311	377	961
17	329	398	1015
18	351	424	1082

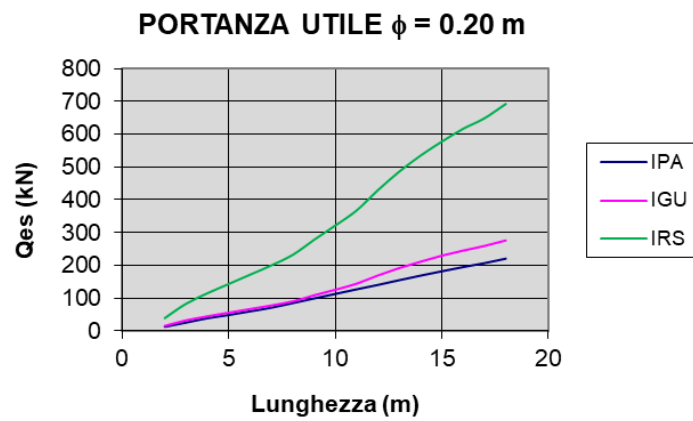


prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	12	12	30
3	25	28	71
4	38	37	96
5	45	45	118
6	55	55	144
7	65	65	170
8	79	88	229
9	93	106	274
10	107	122	315
11	121	139	359
12	136	159	407
13	151	179	458
14	165	199	506
15	178	216	551
16	190	231	588
17	202	244	622
18	215	260	663

figura 16: valori minimi

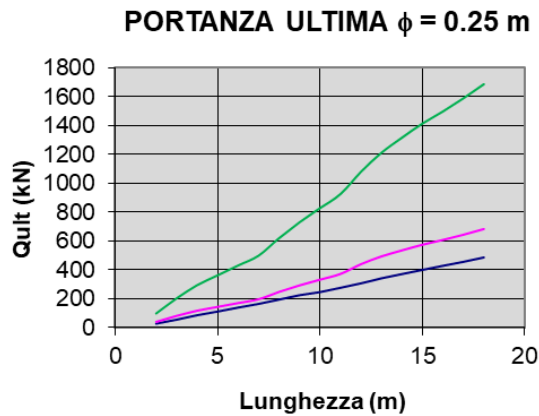


prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	21	26	67
3	43	55	142
4	66	76	196
5	83	95	245
6	102	114	293
7	121	133	341
8	145	154	396
9	169	185	474
10	193	214	549
11	216	246	627
12	240	289	733
13	264	327	830
14	288	360	913
15	310	392	986
16	333	418	1053
17	353	443	1107
18	377	471	1182

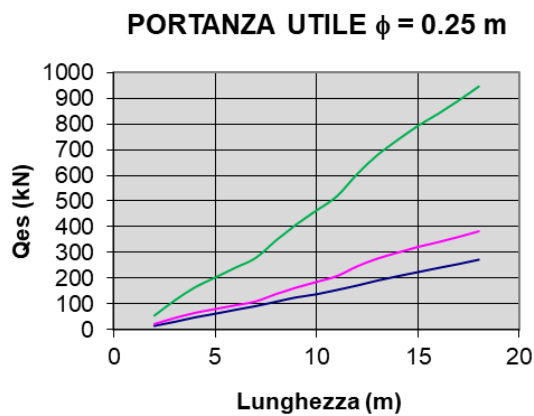


prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	13	15	39
3	25	32	83
4	39	45	115
5	48	56	143
6	60	67	172
7	71	78	200
8	85	90	232
9	99	109	278
10	113	125	321
11	127	144	367
12	140	169	429
13	155	192	486
14	169	211	535
15	182	230	577
16	195	245	617
17	207	259	648
18	220	276	692

figura 17: valori II media

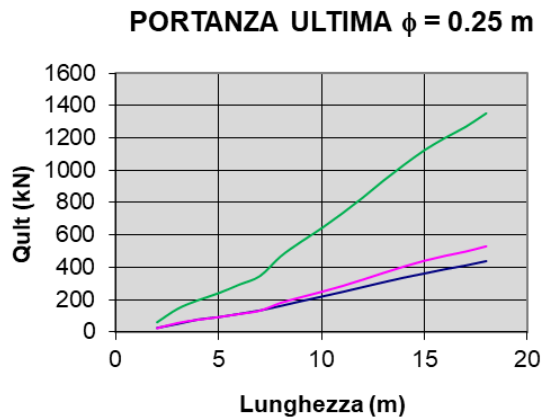


prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	27	40	98
3	55	81	202
4	85	117	294
5	111	143	362
6	138	170	430
7	164	196	498
8	194	247	619
9	224	292	729
10	246	332	827
11	275	371	925
12	306	439	1079
13	341	493	1211
14	371	534	1315
15	399	574	1413
16	428	607	1496
17	455	643	1588
18	485	682	1686

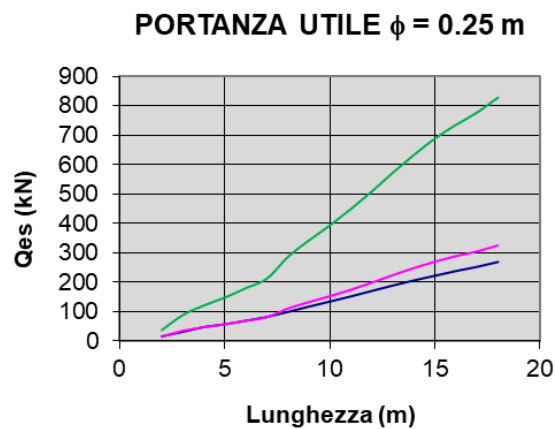


prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	15	22	55
3	31	45	114
4	48	66	165
5	62	80	203
6	78	95	241
7	92	110	279
8	109	139	347
9	126	164	409
10	138	186	464
11	154	208	519
12	172	246	605
13	191	277	679
14	208	300	738
15	224	322	793
16	240	341	840
17	255	361	891
18	272	383	946

figura 18: valori medi

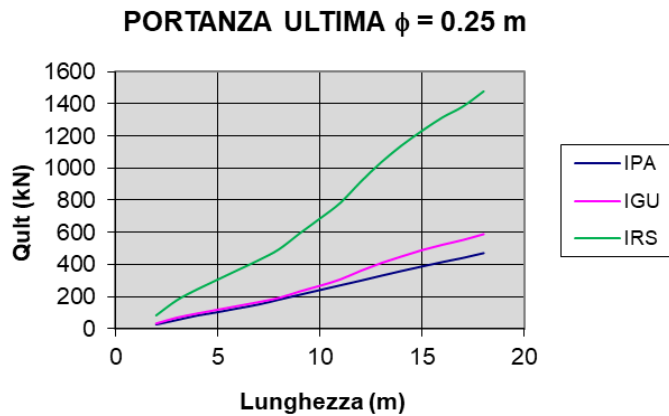


prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	25	24	60
3	51	57	144
4	78	76	197
5	92	92	241
6	113	112	294
7	133	132	346
8	161	180	467
9	191	216	559
10	219	249	642
11	248	285	733
12	278	324	831
13	308	366	936
14	337	405	1034
15	363	441	1125
16	389	471	1201
17	412	498	1269
18	439	531	1352

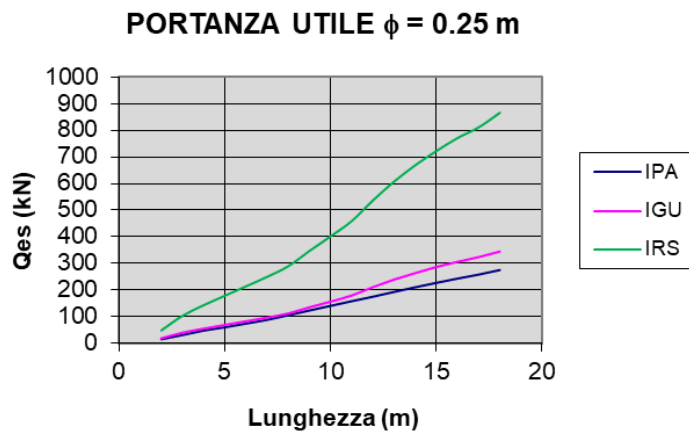


prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	16	14	37
3	31	35	88
4	47	47	121
5	57	57	147
6	69	69	180
7	82	81	212
8	99	110	286
9	117	132	342
10	134	152	393
11	152	174	449
12	170	199	509
13	189	224	573
14	206	248	633
15	222	270	689
16	238	289	735
17	252	305	777
18	269	325	828

figura 19: valori minimi



prof.	Q _{ult} (IPA)	Q _{ult} (IGU)	Q _{ult} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	27	33	84
3	54	69	177
4	82	95	245
5	103	119	306
6	127	142	366
7	151	166	427
8	181	192	495
9	211	232	593
10	241	268	686
11	270	307	784
12	300	361	916
13	330	409	1037
14	360	451	1141
15	388	490	1233
16	416	523	1316
17	441	553	1384
18	471	589	1478



prof.	Q _{es} (IPA)	Q _{es} (IGU)	Q _{es} (IRS)
m	kN	kN	kN
2	16	19	49
3	32	40	104
4	48	56	144
5	60	70	179
6	75	83	214
7	89	97	250
8	106	113	290
9	124	136	347
10	141	157	402
11	158	180	459
12	175	211	536
13	193	240	607
14	211	264	668
15	227	287	722
16	243	306	771
17	258	324	811
18	276	345	865

figura 20: valori II media

A tale portanza può essere aggiunta l'aliquota riferibile alla base del palo (fattorizzata con $R3 = 1.35$ e ξ_3, ξ_4 suddetti) che gli Autori valutano speditivamente nell'ordine del 15% di quella laterale.

7.2 Fondazioni esistenti

Qualora s'intenda procedere ad una valutazione delle prestazioni delle fondazioni esistenti, considerato il tempo intercorso dalla costruzione, il terreno di sedime non potrà che rispondere in condizioni drenate.

Come noto, i dati penetrometrici non consentono valutazioni dei parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci, condizionanti la prestazione portante a lungo termine.

Facendo conto sull'esperienza, l'angolo d'attrito interno caratteristico (ϕ'_k) può essere compreso nel range $20^\circ \div 25^\circ$ mentre la coesione c' può variare tra 5 e 15 kPa (avendo l'accortezza di associare al valore più basso del primo parametro il più alto del secondo e viceversa).

Volendo esplorare le meno favorevoli condizioni totali, si consideri che in un masso omogeneo la profondità e l'estensione della superficie di scorrimento varia in accordo con la geometria della fondazione e con l'angolo d'attrito interno del terreno; la figura 21 mostra efficacemente tale variazione.

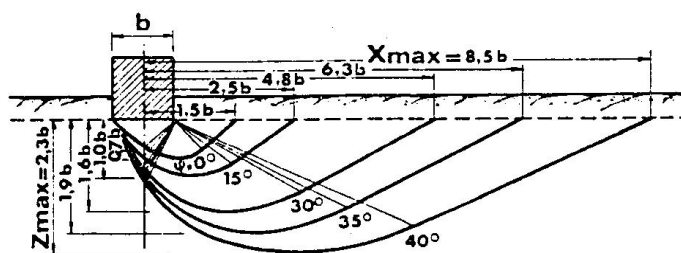


figura 21

L'edificio in questione dispone di fondazioni a T rovescio in c.a. larghe $2.6 \div 2.8$ m, pertanto il terreno potenzialmente coinvolto nel meccanismo di rottura comprende lo strato argilloso superficiale fino a circa 4 m dal piano campagna.

Mediando i valori della coesione non-drenata c_u involuppati in figura 13 si ottiene un valore operativo pari a 50 kPa.

8 MODELLAZIONE SISMICA DI BASE

La figura 22, tratta da *Structural model of Italy* (C.N.R.), mostra l'andamento delle principali strutture tettoniche, rappresentate dal fronte di accavallamento pedeappenninico interno (P.T.F.) e dalle cosiddette "Pieghe Ferraresi".

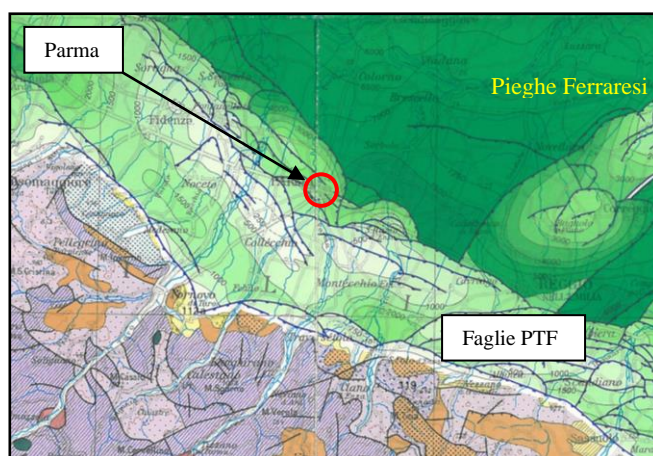


figura 22

Tali strutture sono conseguenti alla subduzione della Zolla adriatica alla Catena appenninica, fenomeno regionale che arricchisce i sedimenti marini sepolti nella Pianura fino a portarli a giorno nei rilievi che bordano a Sud la Valle Padana.

Nella fattispecie la città di Parma ricade sul margine del fronte di accavallamento pedeappenninico interno, nella zona 2 (Taro-Enza) della più recente proposta di zonazione sismogenetica dell'Appennino settentrionale (figura 23), elaborata sulla base delle strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e della distribuzione della sismicità storica.

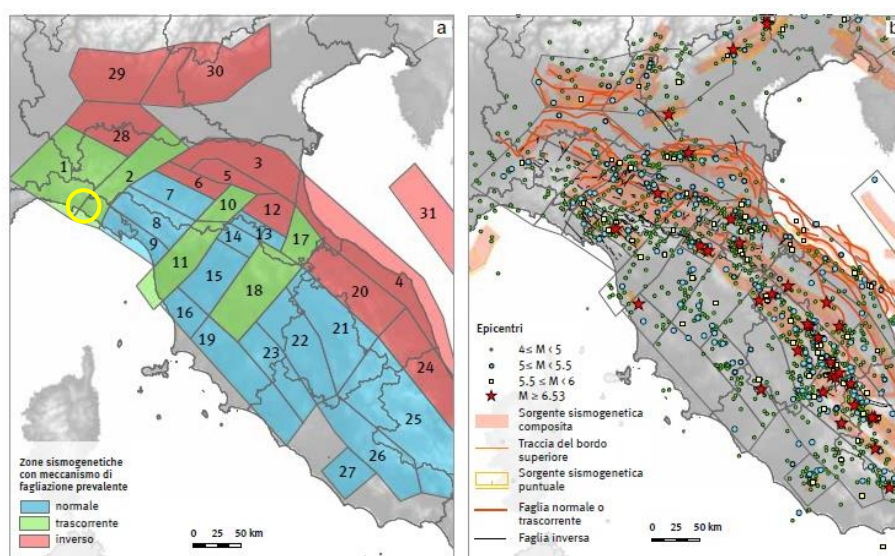


figura 23: nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino settentrionale; dati di riferimento a destra (Meletti e Valenzise, 2004; Meletti et al., 2008)

Questo settore è caratterizzato da sismicità medio-bassa; la Magnitudo storica massima è $M \approx 5.5$.

In questa fascia territoriale sono riconosciuti importanti elementi tettonici trasversali all'asse della catena, con componente di movimento trascorrente, che interrompono e dislocano le strutture "appenniniche".

I terremoti attesi sono perlopiù compressivi, con direzione circa N-S e profondità talora elevate (> 30 km).

Secondo lo Studio di Microzonazione sismica di 3° livello di cui si è dotata l'Amministrazione Comunale di Parma, i valori di picco al suolo a_g/g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni sono compresi nell'intervallo $0.118 \div 0.174$.

Riguardo alla pericolosità sismica locale, in figura 24 si propone un estratto della "Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali" allegata al PTCP.

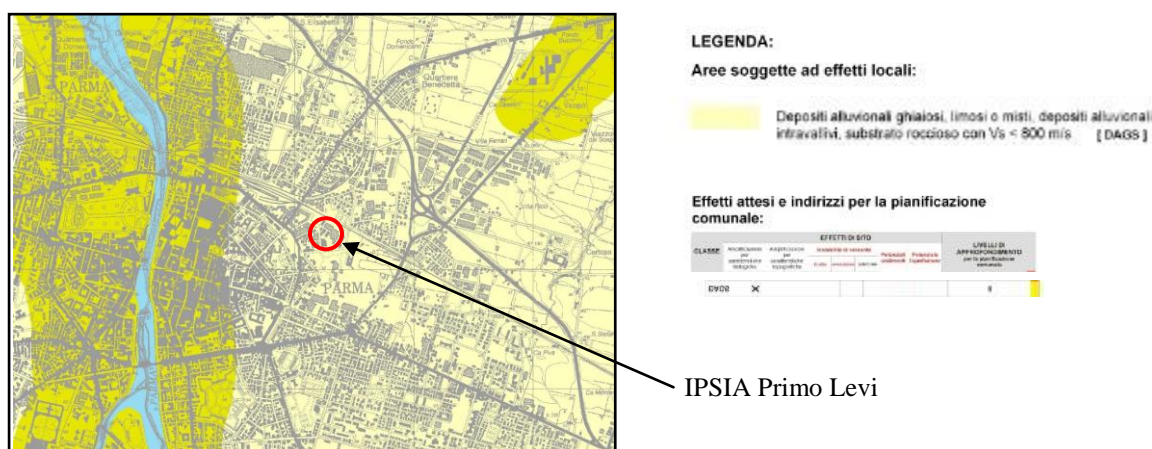


figura 24: estratto da "Carta degli effetti attesi" del PTCP (Tavola P9a 200SE)

Da questa si evince che l'unico effetto di sito prevedibile è l'amplificazione per caratteristiche litologiche.

8.1 Effetti sismici locali

Sembra opportuno affrontare l'argomento della Risposta Sismica Locale secondo i due approcci (semplificato e rigoroso) previsti dalle Norme, mantenendo le stesse caratteristiche generali, così da verificare le eventuali differenze.

8.1.1 Approccio semplificato

Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, le *NTC 2018* richiedono che la "categoria di sottosuolo" sia stabilita sulla base del profilo della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$.

Laddove la profondità del substrato sismico (inteso come quella formazione costituita da terreno rigido caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s) risulti superiore a 30 m, come nel caso in questione, $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$.

Chi scrive ha diretto una prova geofisica superficiale, tipo MASW (Multichannel Acquisition Surf Wave) ed un test di sismica passiva (metodo HVSr).

L'ubicazione delle prove e una ripresa fotografica dei test sono in figura 25.

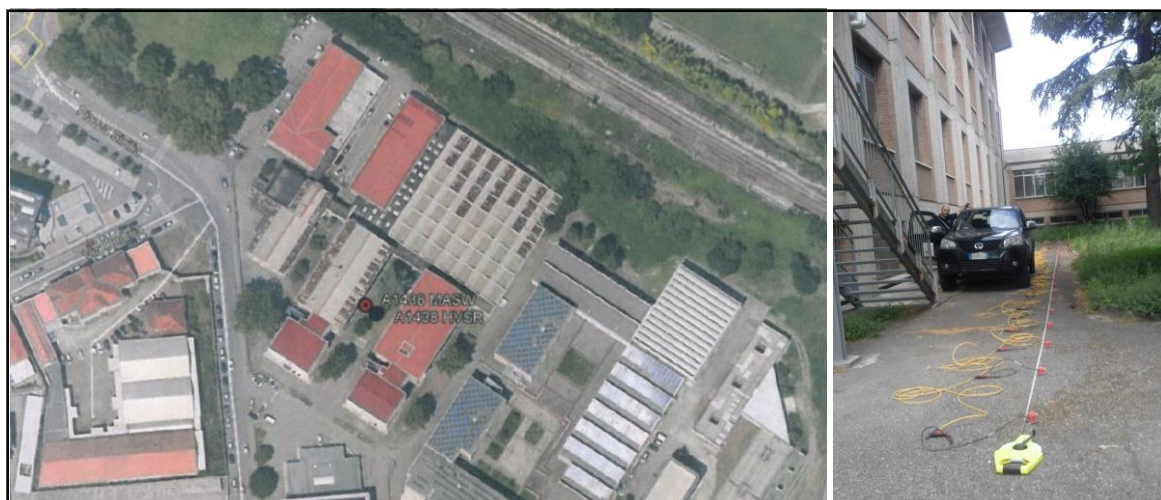


figura 25

La metodica ed i risultati sono nell'allegata relazione specialistica, a firma dei Dott. Ropa e Barbieri (Studio CGA) di San Giovanni in Persiceto (BO), che hanno condotto materialmente i test ed elaborato i dati di campo.

In sintesi, le misure V_s registrate nel corso delle prove sono trascritte nelle tabelle 1÷2 e diagrammate sinteticamente in figura 26.

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	0.0 - 1.47	1.47	166.05
2	1.47 - 3.30	1.83	153.09
3	3.30 - 5.59	2.29	141.85
4	5.59 - 8.46	2.87	267.69
5	8.46 - 12.04	3.58	273.63
6	12.04 - 16.52	4.48	169.83
7	16.52 - 22.12	5.60	274.10
8	22.12 - 29.12	7.00	386.50
9	29.12 - 37.87	8.75	387.03
10	37.87 - 47.34	9.47	494.97

tabella 1: misure V_s da prova MASW

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	0.0 - 5.59	5.59	151.27
2	5.59 - 22.12	16.53	234.1
3	22.12 - 37.86	15.74	386.8
4	37.86 - 40.80	2.94	495
5	BEDROCK	-	800

tabella 2: misure V_s da prova HVSr

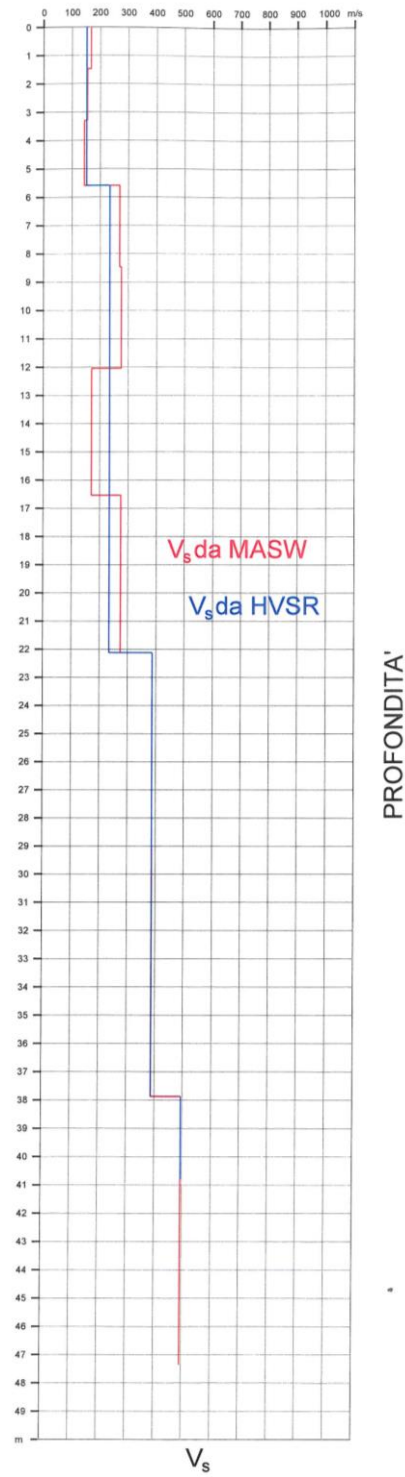


figura 26

Considerando una quota della testa dei pali a - 1 m dalla superficie, la media pesata dei valori secondo le disposizioni normative fa stimare:

$$V_{s(30)} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{S1}) = 234 \div 241 \text{ m/s}$$

che classifica il sottosuolo nella **Categoria C**, secondo le *NTC 2018*.

Quanto alle **condizioni topografiche**, la morfologia pianeggiante della zona fa ritenere adeguata la categoria **T1**.

Giacchè si tratta di un complesso scolastico, il cui uso prevede affollamenti significativi, si considera una **Classe d'uso III** ed una **vita nominale di 50 anni**.

Ciò premesso e note le coordinate geografiche del sito, le suddette *Norme* offrono la chiave per determinare i parametri d'accelerazione al suolo da mettere in conto.

La figura 27 riporta i dati di *input* del procedimento normativo.

P _{VR} %	Classe d'uso:	3	Categoria sottosuolo:		C	Numero decimali per : T _R (anni)	0		
	Vita nominale:	50	Categoria topografica:		T1		a _g (g)	4	
	Latitudine:	44.805761	Smorzamento viscoso % ξ:		5		F ₀	3	
	Longitudine:	10.343670					T _C * (s)	3	
		SLO	81	1	Fattori di riduzione				
		SLD	63	1					
		SLV	10	1					
		SLC	5	1					
	Punti della maglia di riferimento utilizzati								
		ID	Longitudine	Latitudine	Distanza (km)	Note:			
Primo	15384	10.321	44.793	2.28					
Secondo	15385	10.392	44.795	4					
Terzo	15162	10.319	44.843	4.58					
Quarto	15163	10.389	44.845	5.64					
Risultati									
		T _R (anni)	a _g (g)	F ₀	T _C * (s)	Spostamenti e velocità orizzontali del terreno			
Stato limite operativo		45	0.0525	2.507	0.254	T _R (anni)	d _g (cm)	V _g (cm/s)	
Stato limite di danno		75	0.0651	2.504	0.270	SLO	45	1.50	0.53
Stato limite di salvaguardia della vita		712	0.1553	2.471	0.291	SLD	75	1.98	0.68
Stato limite di collasso		1462	0.1958	2.480	0.299	SLV	712	5.82	1.68
						SLC	1462	7.69	2.07
	S _s	S _t	η						
SLO	1.50	1.00	1.00						
SLD	1.50	1.00	1.00						
SLV	1.47	1.00	1.00						
SLC	1.41	1.00	1.00						

figura 27

Le figure 28÷29 mostrano invece gli spettri d'accelerazione calcolati per un fattore di struttura unitario e smorzamento viscoso convenzionale pari al (5%).

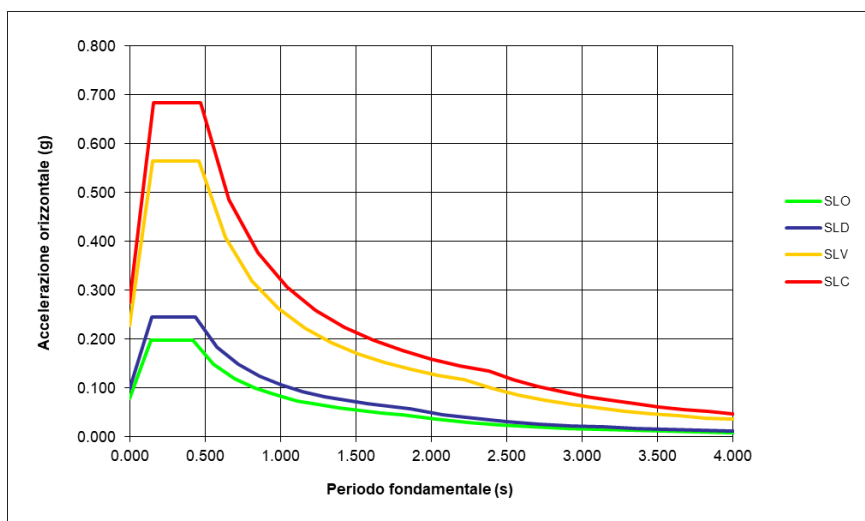


figura 28

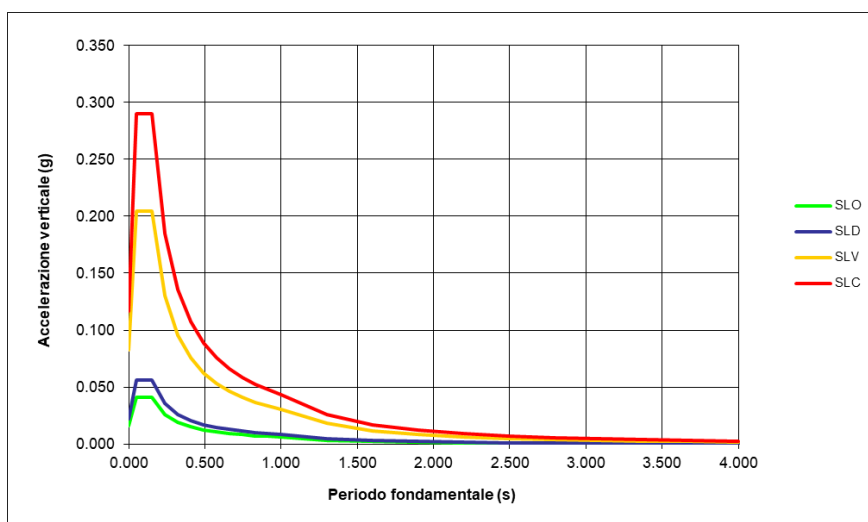


figura 29

Dall'elaborazione risultano i seguenti coefficienti d'amplificazione stratigrafica (S_s):

- stato limite operativo (SLO)	1.50
- stato limite di danno (SLD)	1.50
- stato limite di salvaguardia della vita (SLV)	1.47
- stato limite di collasso (SLC)	1.41

e le seguenti accelerazioni nella condizione di campo libero:

	Orizzontali	Verticali
- stato limite operativo (SLO)	$a_{hmax} = 0.079 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.016 \text{ g}$
- stato limite di danno (SLD)	$a_{hmax} = 0.098 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.022 \text{ g}$
- stato limite di salvaguardia della vita (SLV)	$a_{hmax} = 0.228 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.083 \text{ g}$
- stato limite di collasso (SLC)	$a_{hmax} = 0.276 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.117 \text{ g}$

8.1.2 Approccio rigoroso

A questo fine si sono ricercati 7 accelerogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili dalla banca dati europea European Strong-motion Database (Ambraseys et al., 2004), sfruttando le potenzialità del software **REXEL v 3.5** messo a punto dalla ReLUIS dell'Università Federico II di Napoli.

Nella tabella 3 seguente sono riportate le caratteristiche degli eventi considerati .

	Waveform ID						
	242	365	822	4675	6326	6335	7142
Earthquake ID	115	175	350	1635	2142	2142	2309
Station ID	ST225	ST140	ST236	ST2487	ST2496	ST2557	ST539
Earthquake Name	Valnerina	Lazio Abruzzo	Umbria Marche (aftershock)	South Iceland	South Iceland (aftershock)	South Iceland (aftershock)	Bingol
Date	19/9/79	7/5/84	3/10/97	17/6/00	21/6/00	21/6/00	1/5/03
Mw	5.8	5.9	5.3	6.5	6.4	6.4	6.3
Fault Mechanism	normal	normal	normal	strike slip	strike slip	strike slip	strike slip
Epicentral Distance [km]	5	5	5	13	14	15	14
PGA_X [m/s ²]	1.5095	0.985	1.5287	1.2916	1.7476	1.2481	5.0514
PGA_Y [m/s ²]	2.0121	1.0802	1.8377	1.5325	1.1423	1.1322	2.9178
PGV_X [m/s]	0.0758	0.0368	0.0645	0.1611	0.0966	0.1659	0.336
PGV_Y [m/s]	0.1401	0.0365	0.0835	0.101	0.1765	0.1083	0.2097
ID_X	14.5762	11.0389	9.007	4.8619	4.2231	6.4075	7.3341
ID_Y	4.3377	8.6112	9.7887	7.669	5.5569	7.0906	8.4263
Np_X	0.81695	0.63277	0.46302	0.79499	0.50963	0.78039	0.64556
Np_Y	1.1561	0.49045	0.31172	0.70631	0.59964	0.61902	0.85171
EC8 Site class	A	A	A	A	A	A	A

tabella 3

Nella figura 30 sono rappresentate le registrazioni di quegli eventi e in figura 31 gli spettri derivati.

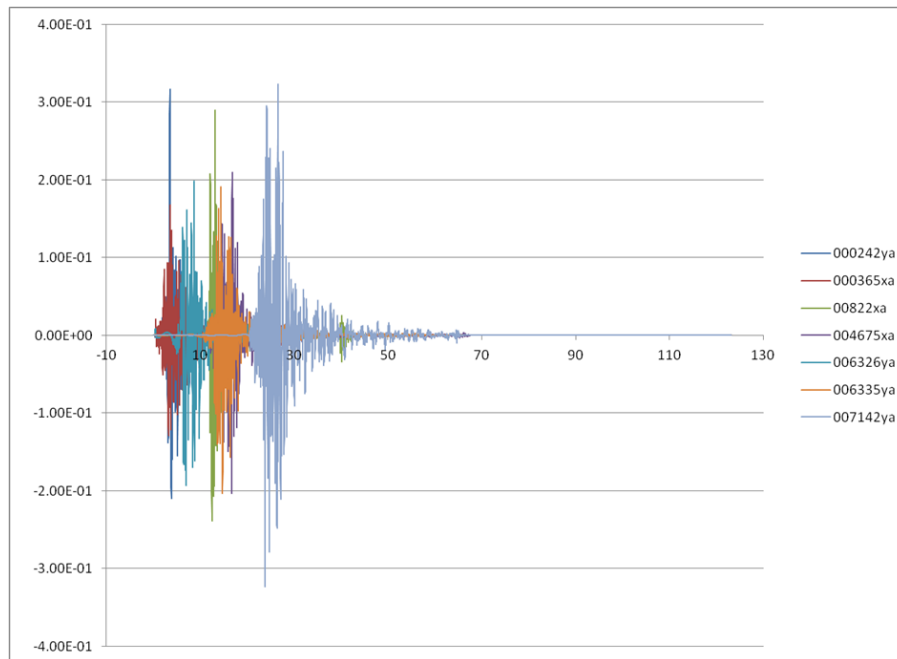


figura 30

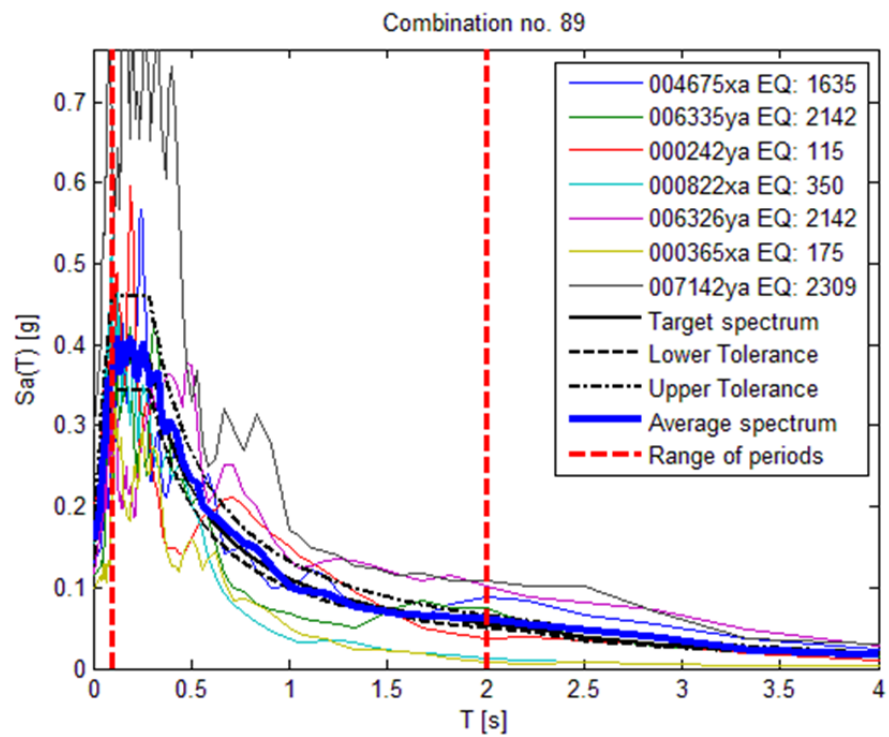


figura 31

Le alee in gioco riguardano la stratigrafia estesa al Bed-rock sismico e le risposte di terreni e rocce in termini di G/G_0 e Damping % in funzione di Strain %.

Per questi ultimi parametri non si può che fare riferimento a standard bibliografici, visto che il progetto in corso non riserva un impegno tale da richiedere determinazioni sperimentali tramite prove cicliche.

Lo stesso vale per la velocità delle onde di taglio sotto i 50 m di profondità, giacchè le indagini sismiche condotte in questa sede e quelle già disponibili nel comparto d'interesse non hanno superato tale quota.

Una possibile estrapolazione del profilo sismico V_s derivato dal test MASW (suffragato anche da stratigrafie di pozzi profondi della zona) porrebbe il bed-rock sismico a circa 100 m dalla superficie (vedi tabella 4).

In pratica s'impone che le velocità incrementino in progressione fino a 800 m/s per effetto del semplice seppellimento.

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	Natura terreno	Densità (kN/m ²)	Vs (m/s)
1	0.00	4.59	Argilla	19	151.00
2	4.59	6.81	Argilla	19	268.00
3	11.40	4.12	Argilla	19	170.00
4	15.52	5.60	Argilla	20	274.00
5	21.12	15.74	Ghiaia	19	387.00
6	36.86	12.14	Ghiaia	20	495.00
7	49.00	17.00	Argilla	20	575.00
8	66.00	17.00	Ghiaia	20	650.00
9	83.00	17.00	Argilla	21	725.00
	100.00	Half-Space	Bedrock		800.00

tabella 4

Per la definizione della risposta sismica locale ci si è avvalsi del Programma STRATA (Albert Kottke , Ellen Rathje - University of Texas,Austin).

Il metodo di analisi utilizzato è quello lineare equivalente.

Gli **spettri elastici SLV** risultanti sono nella figura 32.

A questi si sono aggiunti lo spettro previsto da NTC 2018 e quello regolarizzato secondo l'Appendice 1 dell'Ordinanza n.55 del 24.04.2018²

² Ordinanza n. 55 del 24.04.2018 del Commissario del Governo per la Ricostruzione dei territori interassati dal sisma del 24.08.2016 nelle Regioni di Abruzzo, lazio, marche e Umbria

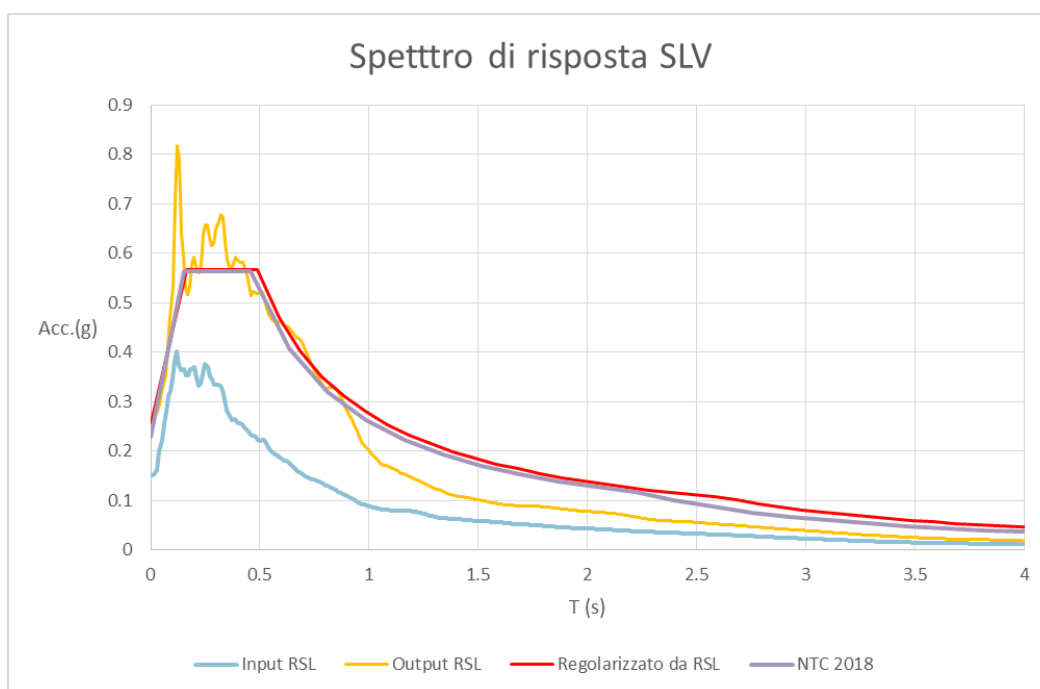


figura 32

Si evince una netta corrispondenza tra i risultati *dell'approccio rigoroso* e *dell'approccio semplificato*.

9 EFFETTI CO-SISMICI

9.1.1 Verifica rischio liquefazione

Segnatamente agli effetti indotti dal terremoto, oltre all'amplificazione stratigrafica si può valutare la suscettività degli orizzonti sabbiosi a liquefare.

Disponendo dei dati CPT, la via è offerta sfruttando la procedura di *Robertson & Wride, 1997*, ed il metodo di sintesi di *Iwasaky et Al., 1982*, rimandando le relative descrizioni alla bibliografia specialistica³.

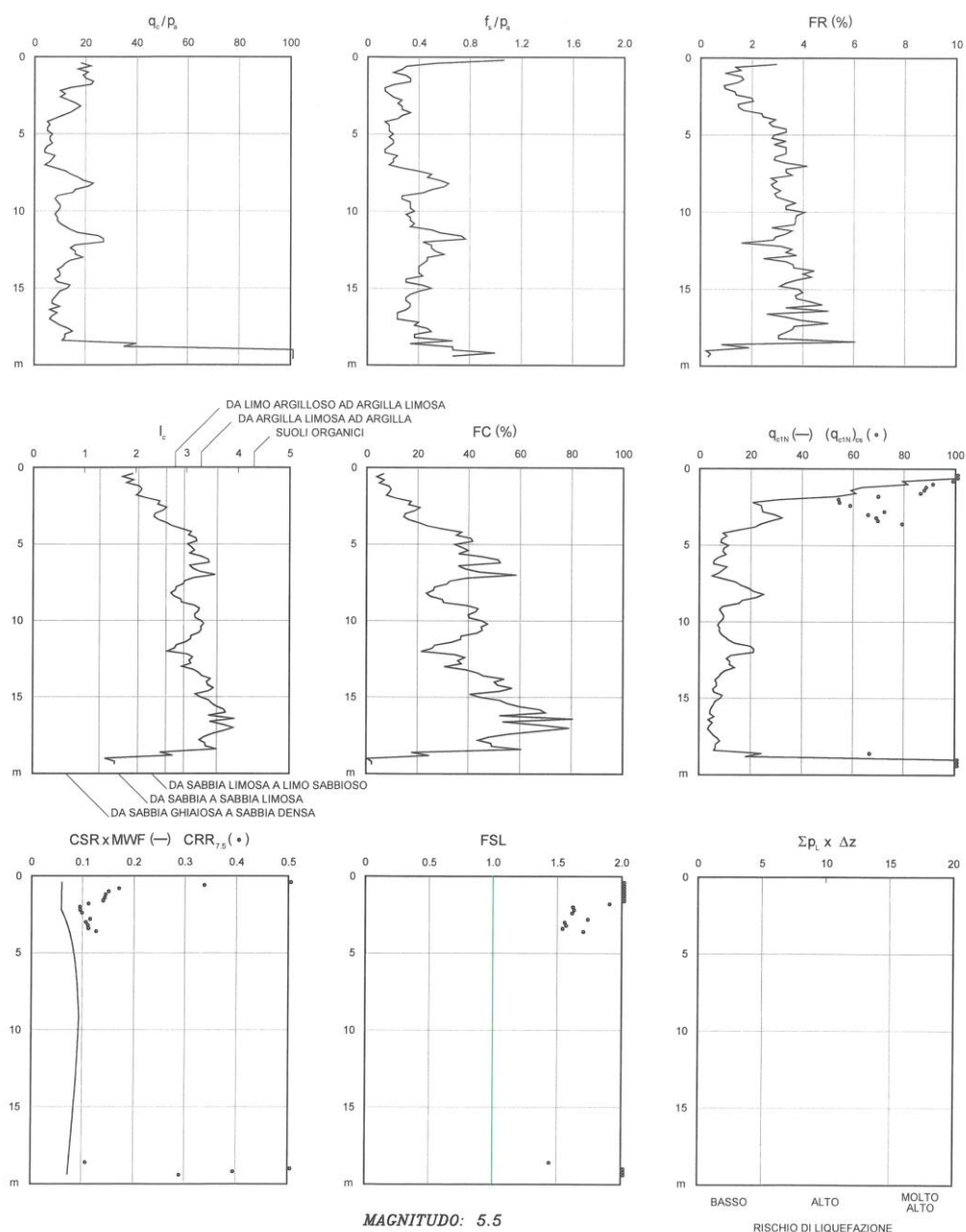
Per adeguare i valori penetrometrici forniti dalla punta standard M2 a quelli della punta elettrica considerata dagli Autori, le misure dell'attrito laterale locale f_s sono state dimezzate (assunzione, questa, verosimilmente conservativa).

S'impone la Magnitudo 5.5 e l'accelerazione locale al suolo (0.228 g) per lo *Stato Limite di salvaguardia della Vita*.

³ Consigliabile il lavoro "CPT-based liquefaction hazard maps for an Italian coastal area" di T. Crespellani, C. Madiati e G. Vannucchi riportato sulla Rivista italiana di geotecnica, anno XXXVII, n. 4.

Gli output del calcolo sono nelle figure 33÷36; essi mostrano che per un sisma del genere è da mettere in conto un rischio di liquefazione nullo.

RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



MAGNITUDO: 5.5

ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .228g

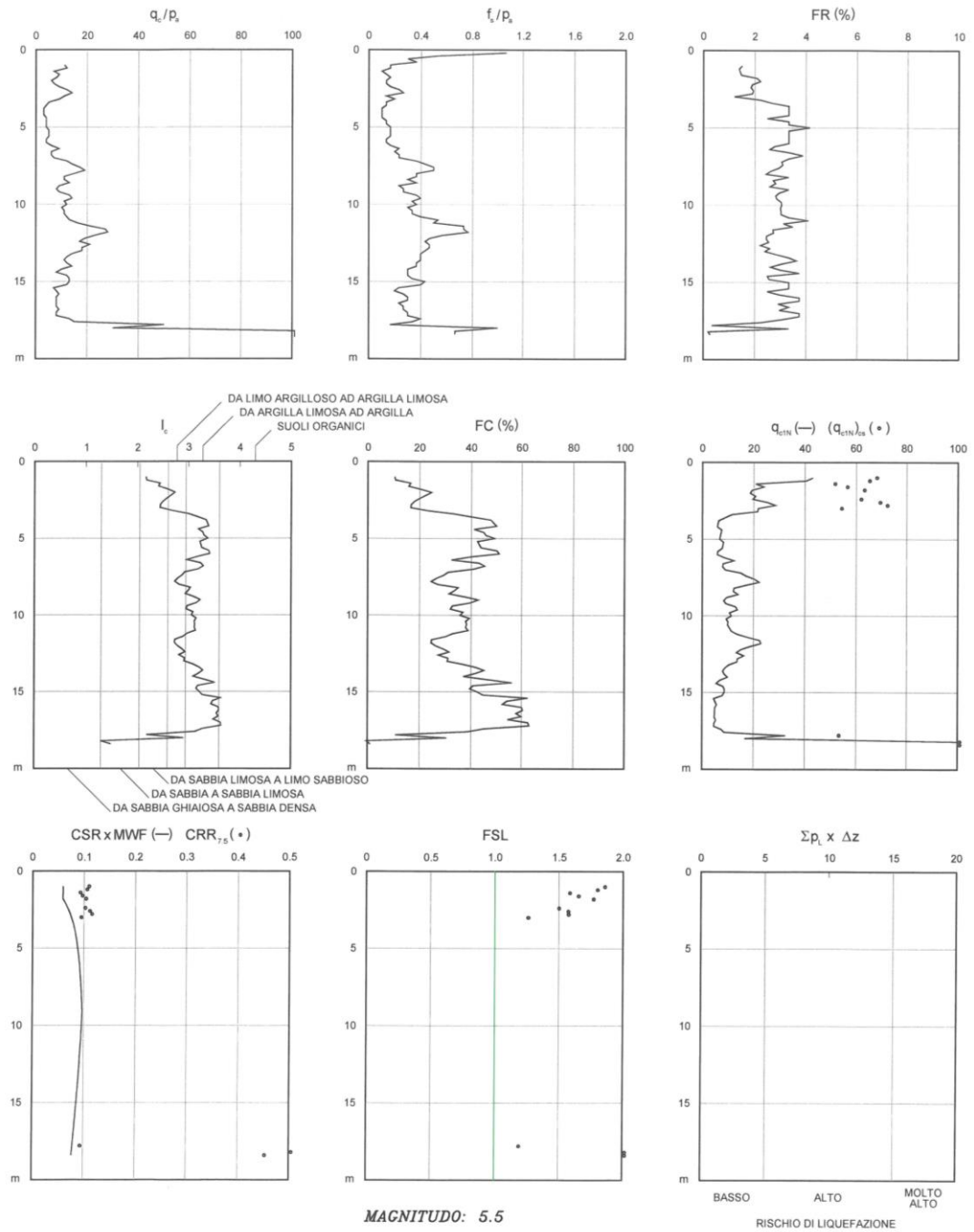
RIFERIMENTO: CPT1

LOCALITA': Parma

CANTIERE: IPSIA Primo Levi

figura 33

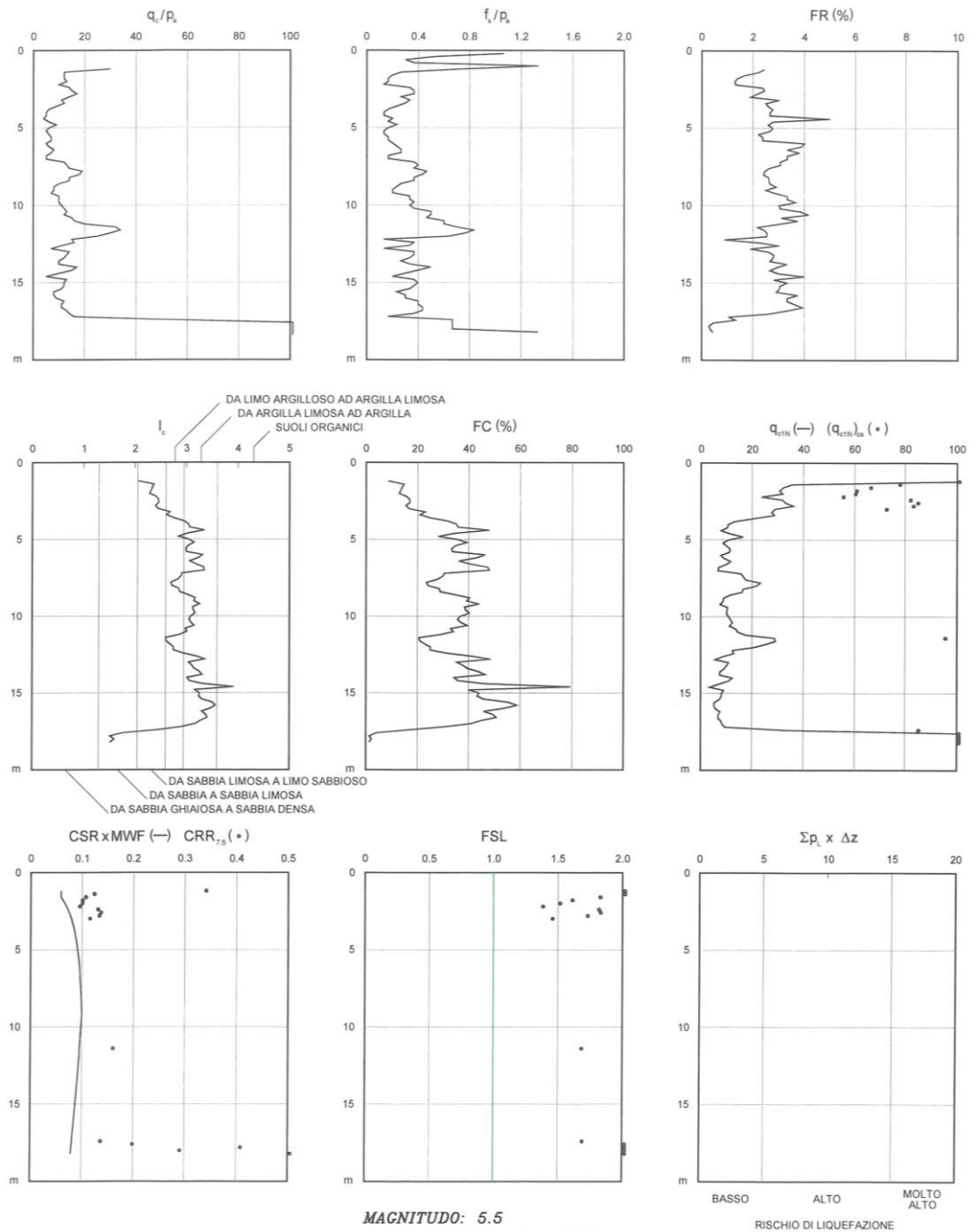
RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



MAGNITUDO: 5.5
ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .228g
RIFERIMENTO: CPT2
LOCALITA': Parma
CANTIERE: IPSIA Primo Levi

figura 34

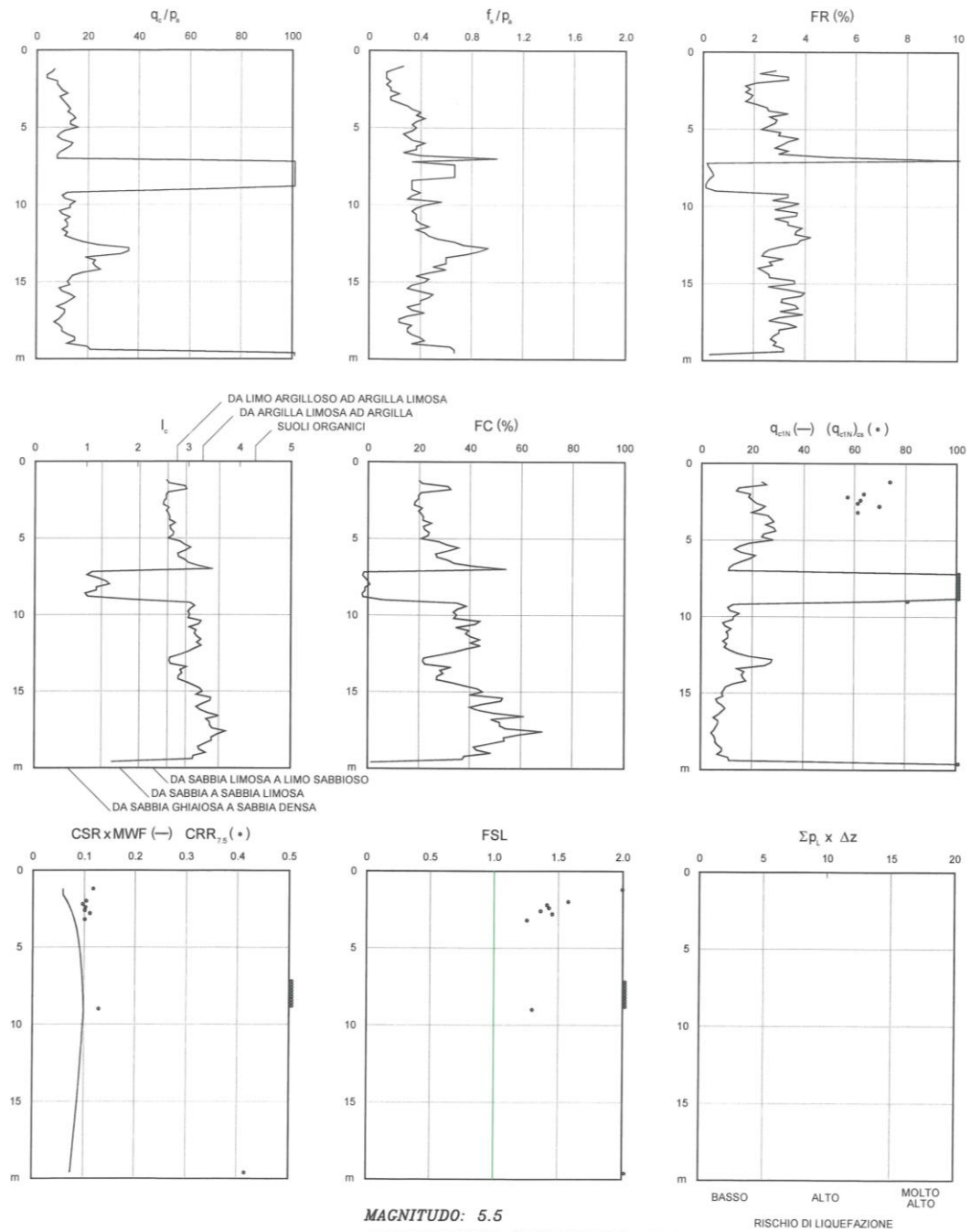
RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



MAGNITUDO: 5.5
ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .228g
RIFERIMENTO: CPT3
LOCALITA': Parma
CANTIERE: IPSIA Primo Levi

figura 35

RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



MAGNITUDO: 5.5
ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .228g
RIFERIMENTO: CPT4
LOCALITA': Parma
CANTIERE: IPSIA Primo Levi

figura 36

10 FREQUENZA FONDAMENTALE DEL TERRENO

Le Norme per la riduzione del rischio sismico allegate ai documenti di Microzonazione sismica del Comune di Parma, sollecitano il Progettista ad evitare il fenomeno della risonanza; i dati di riferimento sono il periodo fondamentale della struttura e la/e frequenza/e fondamentali del terreno.

Riguardo a queste ultime, si propone un estratto della *Carta delle frequenze naturali dei terreni* (figura 37) dello studio MS3.

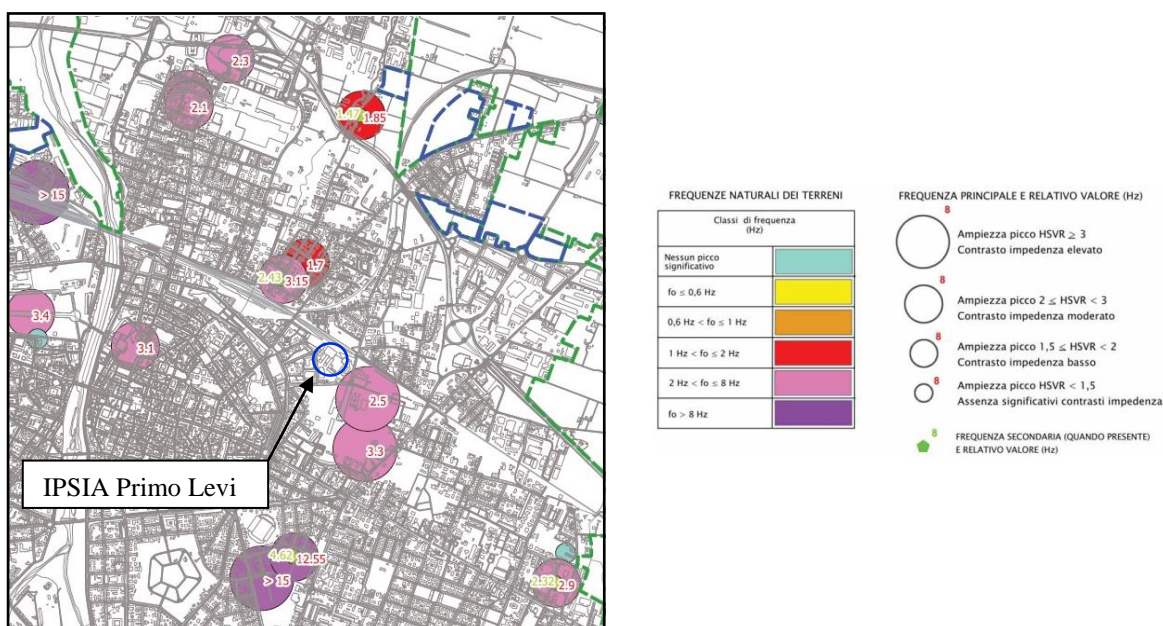
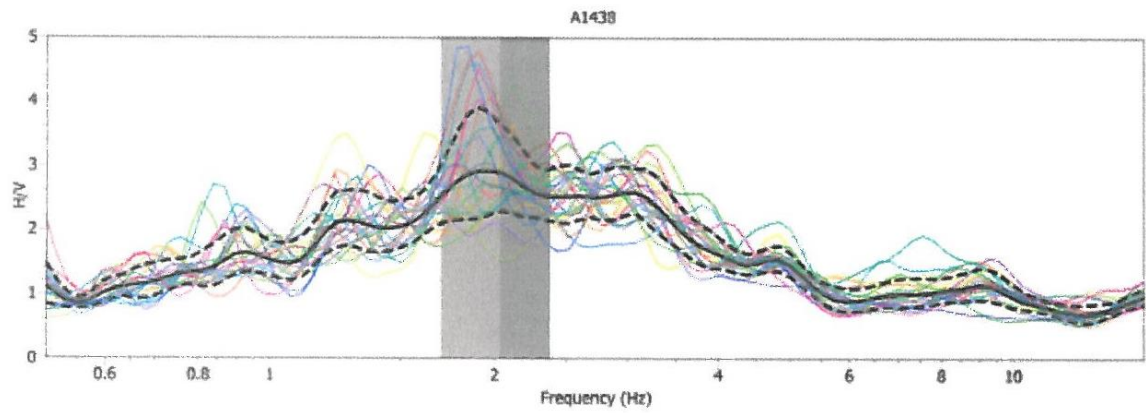


figura 37

Come si vede, i dati disponibili nell'intorno dell'area d'interesse indicano frequenze fondamentali comprese tra 2.0 e 3.3 Hz.

D'altra parte l'indagine HVSR eseguita (figura 38) ha evidenziato una frequenza caratteristica di sito pari a 2 Hz ed un picco principale del rapporto spettrale orizzontale/verticale (H/V) intorno a 2.9 Hz.



Curva HVSr

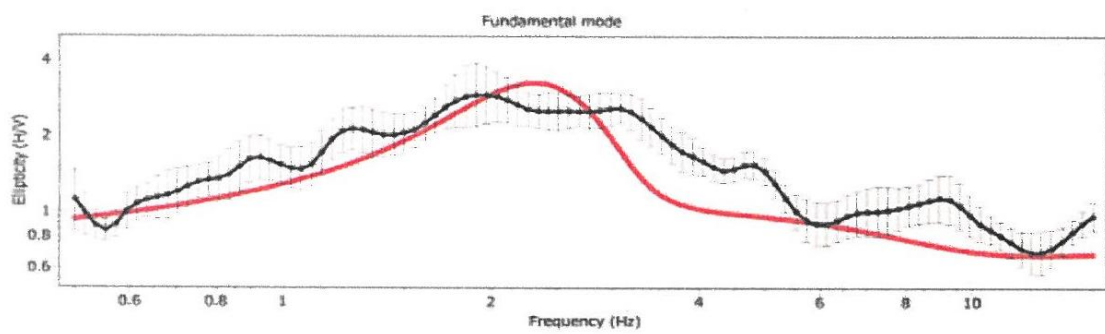


figura 38



ALLEGATO

Report indagini geofisiche (MASW+HVSr)



Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geolog Studio Geologi Associati
Prova:	MASW 24 ch
Località:	IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma
Data:	28/04/20
Certificato:	A1438GF708L1 MASW



SOMMARIO

SOMMARIO	2
INTRODUZIONE	3
METODOLOGIA D'INDAGINE	4
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW	4
MODALITÀ ESECUTIVE	4
ELABORAZIONE DATI	6
SISMICA CON METODOLOGIA MASW	6
<i>Analisi delle immagini di dispersione</i>	<i>6</i>
<i>Interpretazione</i>	<i>6</i>
Densità Dinamica:	7
Modulo di taglio:	7
Modulo di Young:	7
PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	8
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI	9
APPENDICE 1	10



INTRODUZIONE

Su incarico di Geolog Studio Geologi Associati è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot presso l'IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma.

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.



METODOLOGIA D'INDAGINE

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della V_{s30} .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.



Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

SISMOGRAFO M.A.E. X610-S

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervali di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

GEOFONI GEOSPACE GS-11D

Natural Frequency	4,5 ± 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,34 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

Dimensioni

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

* terminal height is 0,3429 cm

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



ELABORAZIONE DATI

SISMICA CON METODOLOGIA MASW

ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

INTERPRETAZIONE

Il profilo delle V_s è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

a = coefficiente adimensionale;

λ_f = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).

In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.



Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

DENSITÀ DINAMICA:

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_p = velocità onde di compressione;

MODULO DI TAGLIO:

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

ρ = massa volumica (γ/g);

γ = densità del mezzo attraversato;

g = accelerazione di gravità;

V_s = velocità onde di taglio;

MODULO DI YOUNG:

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

G = modulo di taglio;

ν = Coefficiente di Poisson.



PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.47	166.05
2	1.83	153.09
3	2.29	141.85
4	2.87	267.69
5	3.58	273.63
6	4.48	169.83
7	5.60	274.10
8	7.00	386.50
9	8.75	387.03
10	9.47	494.97

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della V_{seq} è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato iesimo;

V_{si} = Velocità onde di taglio dello strato iesimo;

N = numero degli strati;

H = profondità del substrato (H = 30 m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La V_{seq} , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

Veq [m/s]	234.45
------------------	---------------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di V_{seq} Linea L1



PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ_{din} (kN/m ³)	E (Mpa)	G0 (Mpa)
0.00	406.73	166.05	15.66	123.30	44.04
1.47	406.73	166.05	15.66	123.30	44.04
3.30	375.00	153.09	15.42	103.21	36.86
5.59	347.46	141.85	15.20	87.33	31.19
8.46	655.71	267.69	17.15	350.90	125.32
12.04	670.25	273.63	17.22	368.15	131.48
16.52	415.99	169.83	15.73	129.53	46.26
22.12	671.41	274.10	17.23	369.55	131.98
29.12	946.74	386.50	18.39	784.36	280.13
37.86	948.03	387.03	18.39	786.72	280.97
47.33	1212.41	494.97	19.27	1348.25	481.52

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 28/04/20

I Geologi :





APPENDICE 1

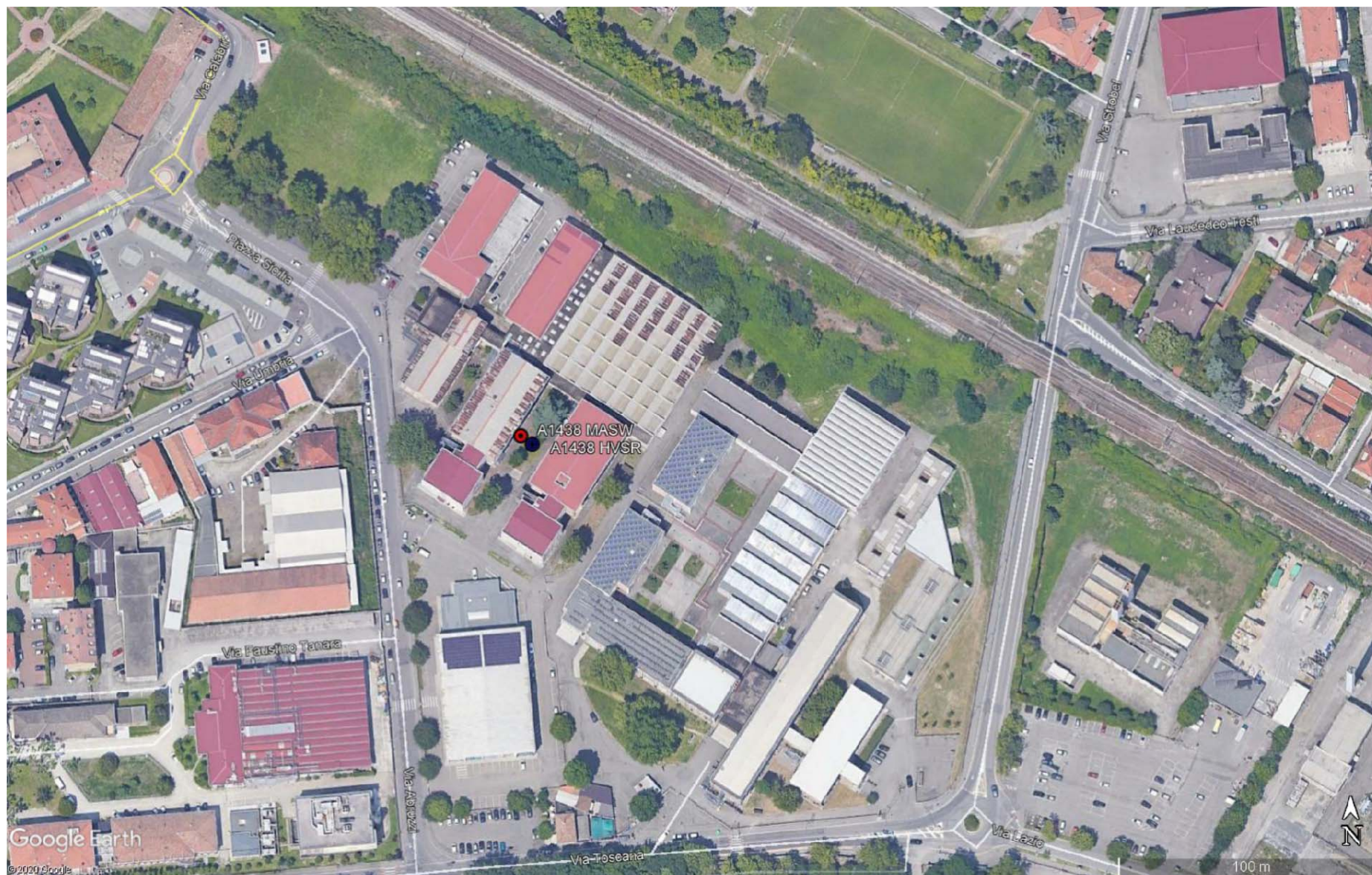
Figure ed elaborati grafici

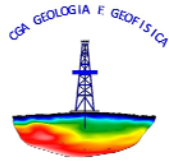


COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVE





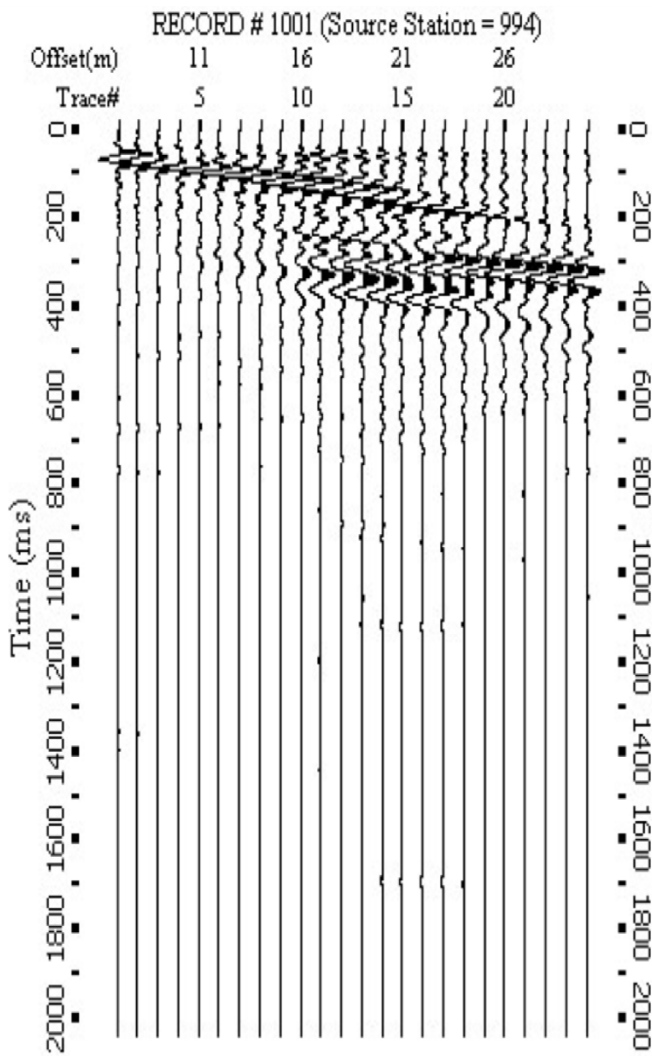
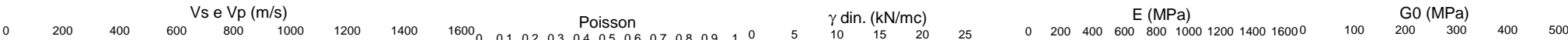
COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati

CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma

PROVA: MASW a 1 Shot CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/04/2020

CERTIFICATO N°: A1438GF708L1 MASW



Sismogrammi A1438GF708L1 MASW

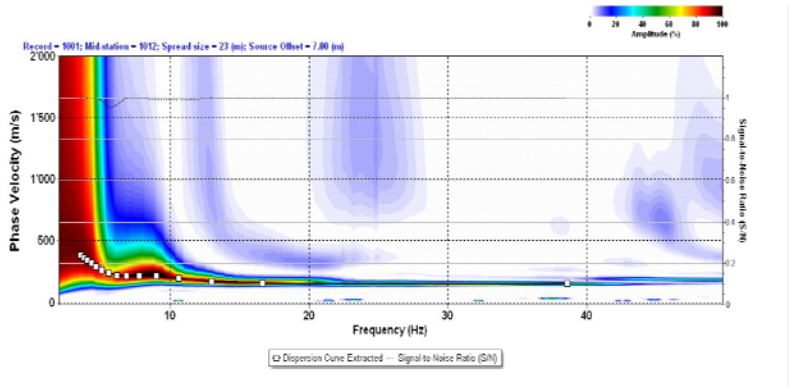
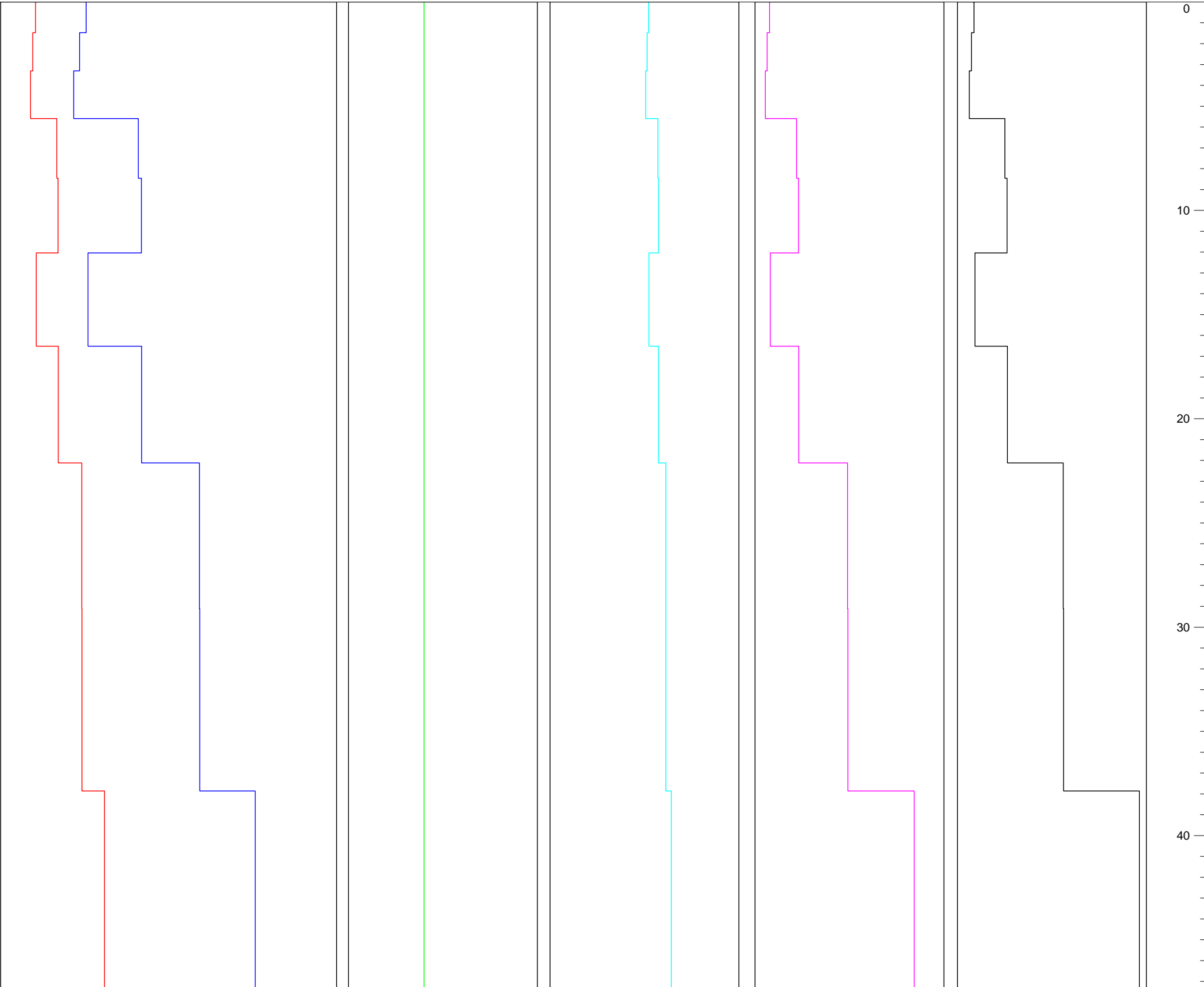


Immagine di dispersione A1438GF708L1 MASW





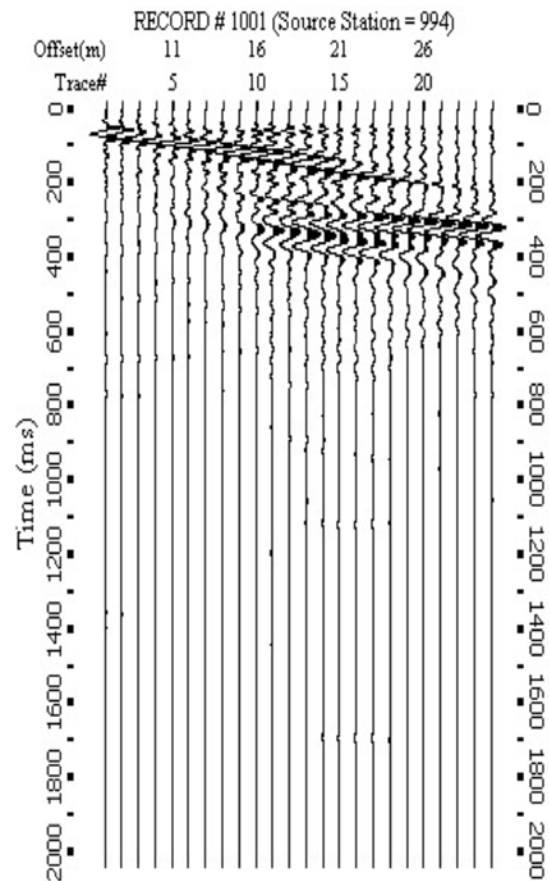
COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati

CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

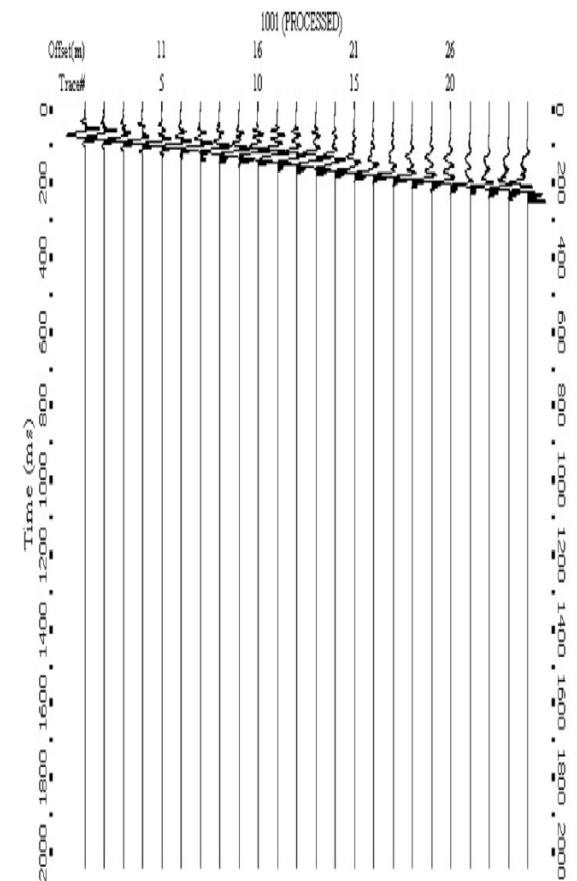
RAPPORTO DI FILTRAZIONE



Sismogrammi come acquisiti

Mute Top (C:\Users\fbarbieri\Desktop\A 1438 - GF 708
- Geolog - Parma\A1438IntMasw\A1438Line1.dat)
Mute Velocity: 147 m/s
Tapering (ms): 102.147
Mute Start: Trace No.1 at time28.983 ms
Mute End: Trace No.24 at time618.86 ms
Mute Bottom (C:\Users\fbarbieri\Desktop\A 1438 - GF 708
- Geolog - Parma\A1438IntMasw\A1438Line1.dat)
Mute Velocity: 149 m/s
Tapering (ms): 5.784
Mute Start: Trace No.1 at time93.111 ms
Mute End: Trace No.24 at time672.91 ms

Filtro utilizzato



Sismogrammi filtrati



COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati
CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma
PROVA: A1438GF708L1 MASW
DATA DI ESECUZIONE: 28/04/2020

REPERTORIO FOTOGRAFICO





Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328
C.F. e Partita IVA 04112290376
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geolog Studio Geologi Associati
Prova:	HVSR A1
Località:	IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma
Data:	28 aprile 2020
Certificato:	A1438GF708 A1 HVSR



SOMMARIO

SOMMARIO	2
INTRODUZIONE.....	3
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR.....	4
ELABORAZIONE DATI	4
INTERPRETAZIONE.....	5
Verifiche SESAME	5
Sismostratigrafia.....	5
Frequenza caratteristica di sito f_0	5
Ampiezza del picco H/V.....	6
APPENDICE 1	7



INTRODUZIONE

Su incarico di Geolog Studio Geologi Associati è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova HVSR, eseguita presso l'IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica HVSR;
- elaborazione dei dati raccolti.

L'ubicazione delle indagini è rappresentata in figura n° 1.



INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR

Il metodo HVSR (Nogoshi e Igarashi 1971; Nakamura 1989) si basa sulla stima del rapporto tra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) dei microtermori sismici ambientali registrati contemporaneamente e da una singola stazione.

La registrazione dei microtremori viene effettuato utilizzando un sensore a tre componenti (orientati sugli assi z, x e y di una terna cartesiana con l'asse delle ordinate posto in coincidenza con il Nord del campo magnetico terrestre) con **frequenza naturale** pari a **2 Hz**.

La stazione registrante è un **sismografo a 24 bit reali** di fabbricazione **MAE**, modello **A6000S**.

I tempi di acquisizione sono funzione delle frequenze fondamentali che si intendono campionare, nel caso specifico il campionamento viene eseguito con target frequenze nel range $0.2 < f_0 < 20$ Hz tempo di registrazione pari a 40' con frequenza di campionamento di 200 Hz.

ELABORAZIONE DATI

Il calcolo del rapporto H/V si sviluppa secondo i seguenti step:

1. Scomposizione dei segnali in finestre temporali, nel caso specifico di almeno 20 s ognuna;
2. Scelta delle finestre nelle quali il segnale registrato risulta maggiormente stazionario (almeno 15);
3. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate;
4. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
5. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre e costruzione della curva H/V definitiva.

Il picco a più elevato rapporto H/V e a frequenza più bassa, individuato sulla curva definitiva, è rappresentativo del salto di impedenza sismica tra la copertura e il bed rock sismico locale.

La frequenza corrispondente a tale picco è la frequenza fondamentale del sito (f_0), dalla quale conoscendo il comportamento sismico della copertura e utilizzando la semplice regola matematica del IV d'onda è possibile stimare la profondità del bed rock sismico locale.



INTERPRETAZIONE

I certificati delle indagini sismiche HVSR eseguite sono riportati in appendice 1.

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco} > [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non Superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Tabella n° 1 – Verifiche SESAME

Sismostratigrafia

La stratigrafia sismica della prova HVSR è riportata nella seguente tabella:

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	5.59	5.59	151.27
2	22.12	16.53	234.10
3	37.86	15.74	386.80
4	40.80	2.94	495.00
5	BEDROCK	-	800.00

Tabella n° 2 – Dati della sismostratigrafia

Frequenza caratteristica di sito f_0

Frequenza f_0 [Hz]
2.034

Tabella n° 3 – Frequenza caratteristica di sito f_0



Ampiezza del picco H/V

Ampiezza del picco [H/V]
2.891

Tabella n° 4 – Ampiezza del picco H/V

San Giovanni in Persiceto, 28 aprile 2020

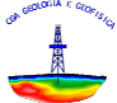
I Geologi :





APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici



COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati

CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1438GF708 A1 HVSR

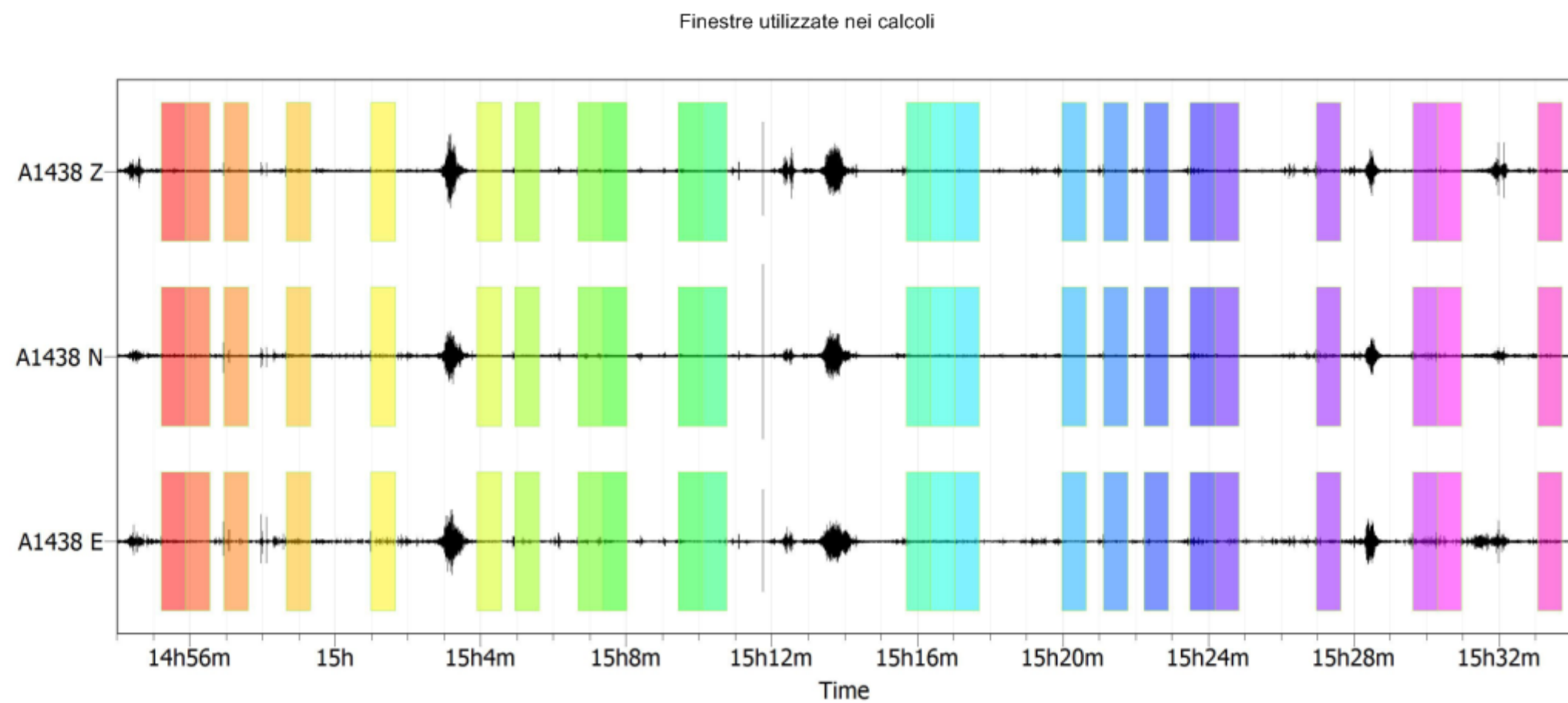
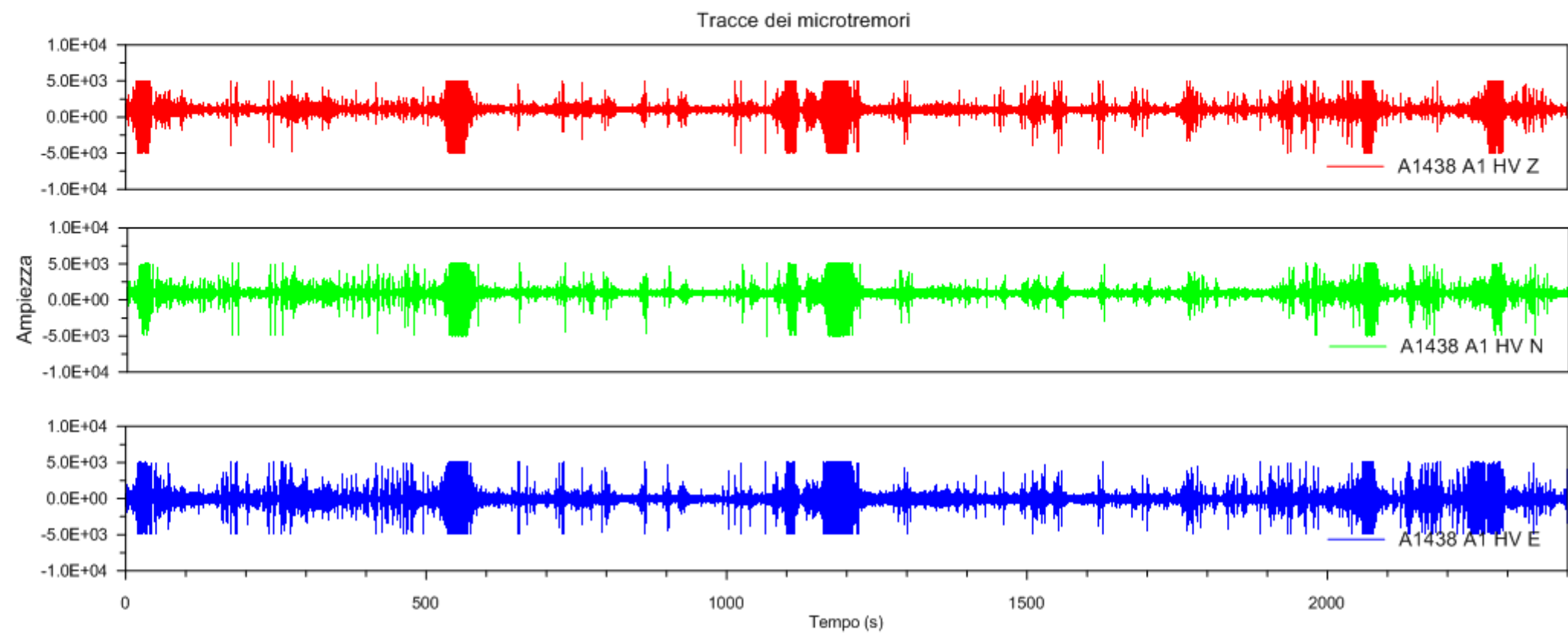




Committente: Geolog Studio Geologi Associati

Prova: HVSR A1 Località: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma Data: 28/04/20

Segnale acquisito e "finestre" utilizzate nei calcoli

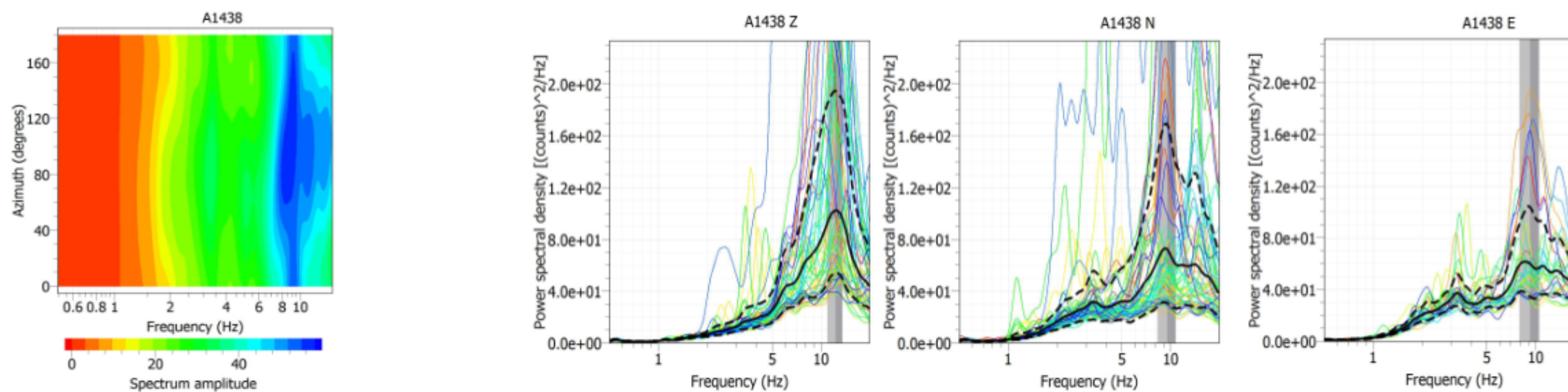




Committente: Geolog Studio Geologi Associati

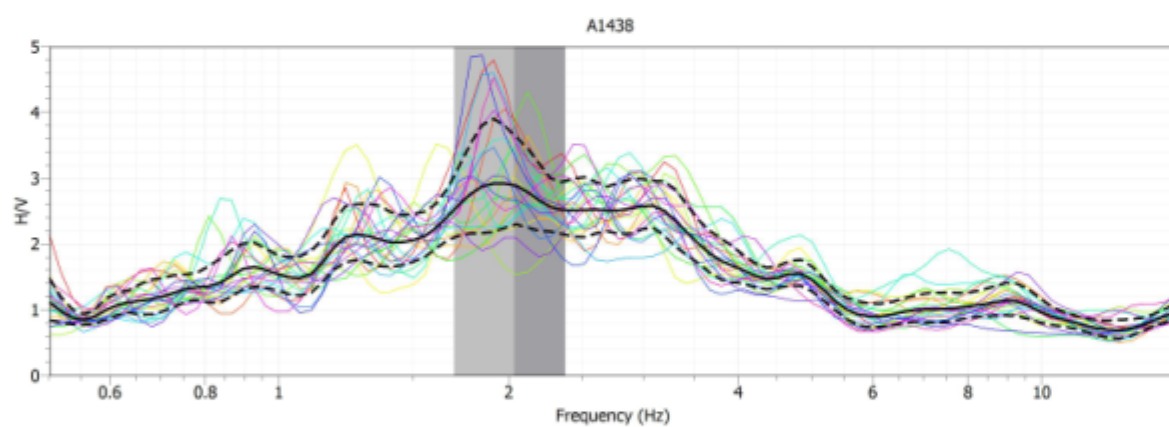
Prova: HVSR A1 Località: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma Data: 28/04/20

Analisi del segnale

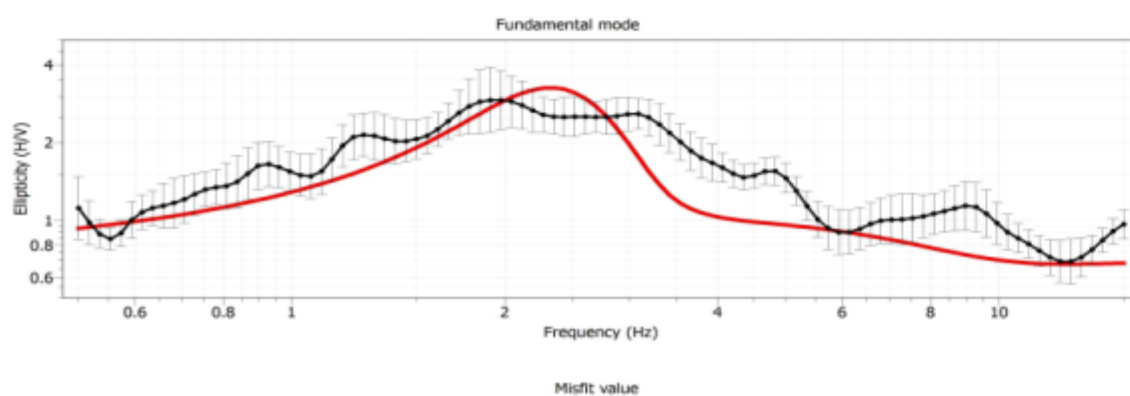


Persistenza direzionale

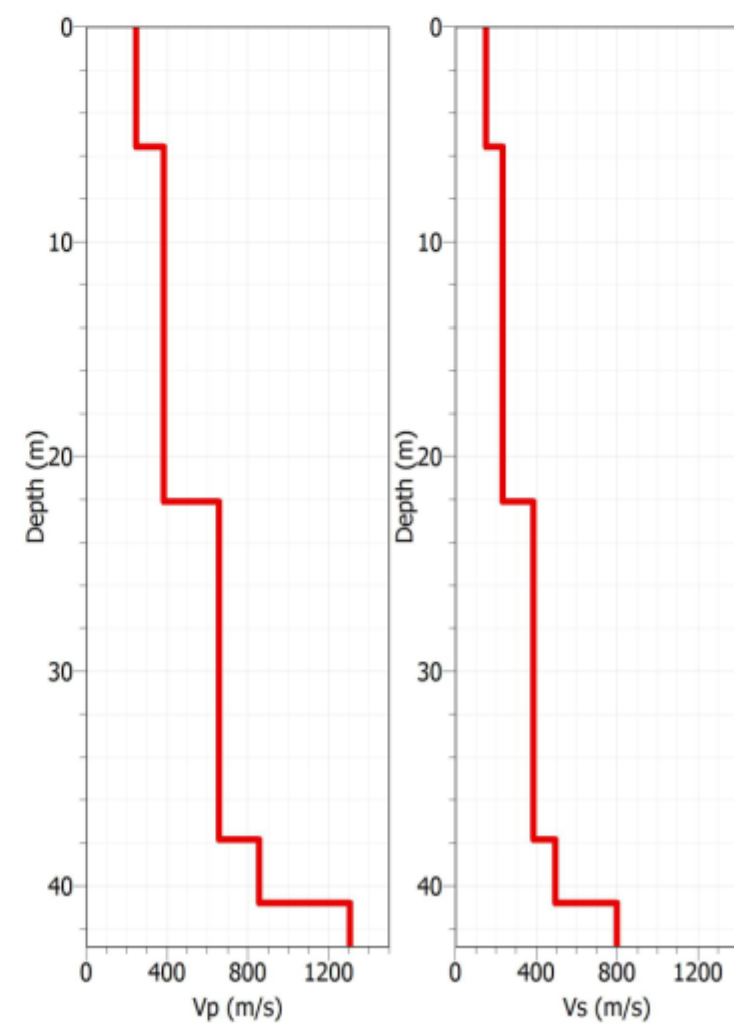
Spettri frequenza/ampiezza per canale di acquisizione



Curva HVSR



Interpretazione



Interpretazione sismostratigrafica



COMMITTENTE: Geolog Studio Geologi Associati
CANTIERE: IPSIA Primo Levi - Piazzale Sicilia n. 5 - Parma
PROVA: HVSR
DATA DI ESECUZIONE: 28/04/2020

REPERTORIO FOTOGRAFICO

