

**VARIANTE 2 PIANO PARTICOLAREGGIATO
COMPARTO "A1" EX-NUOVA SILAN**

**RELAZIONE GEOLOGICA
2° STRALCIO**

integrazione 1



INGEGNERE MARC'AURELIO SANTI

Via C. Cattaneo, 17, 41012 Carpi – tel 059/6229007 fax 059/6220999
Email ingsanti@ingsanticarpi.eu



Indagine Geologica e Sismica

Variante 2 P. Particolareggiato comparto "A1 ex – nuova Silan"

Geotecnica, Geomorfologia e Idrogeologia, Discariche, Bonifiche di Zone Inquinata, Indagini geognostiche: Prove CPT, DPM, di carico su piastra PLT, Prospzioni Geofisiche: Sismica a rifrazione di superficie e in foro, DOWN-HOLE e CROSS-HOLE, Tomografia Elettrica e Sismica, Misurazione velocità di flusso della falda con sistema di STANJIN, Monitoraggio acque sotterranee, Indagini Geo RADAR Indagini superficiale per ricerche archeologiche, con Elettro magnetometro EM31

REGIONE: Emilia Romagna.

PROVINCIA: Modena.

COMUNE: Carpi.

COMMITTENTE:

ANDRIA S. Coop RL

AbitCoop S. Coop

Effemme Costruzioni Srl

Località Intervento:

Via Meloni di Quartirolo 1 Carpi (MO).

Report dati geo e sismici

DATA INDAGINE:

Agosto 2022

Il Tecnico:

STUDIO TECNOGEO



Dr. Geol. Riccardo Triches

Via A. Scarlatti n° 19 - 41012 Carpi (MO)

e-mail: riccardo.triches@gmail.com

pec: r.triches@pec.it

Tel. 348/7442774 fax 059/8672203

Indagine geologica e sismica
 Variante 2 Piano Particolareggiato comparto A1 ex-Nuova Silan
 Via Meloni di Quartirolo 1 comune di Carpi (MPO)

Committente: **ANDRIA S. Coop RL**
AbitCoop S. Coop
Effemme Costruzioni Srl

INDICE

PREMESSA E INQUADRAMENTO	2
CENNI DI GEOLOGIA TERRITORIALE	2
Inquadramento geomorfologico	3
Cenni sulla profondità di falda	4
IPOTESI MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	5
Verifiche sismiche (Ntc/18)	24
Indagini sismiche direttamente eseguite	24
Interpretazione dati acquisiti	25
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto [V_{s30}]).	27
Effetti di sito (NTC approccio semplificato)	31
Amplificazione segnale sismico	31
Dati disaggregazione	32
Stima indicativa degli spettri di risposta (NTC 18)	33
Dati sismici di pianificazione: Microzonazione sismica del territorio comunale	35
Piano gestione del rischio alluvionale PGRA – D. g. R 1300/2016	38
Suscettività alla liquefazione dei terreni del sottosuolo	39
Conclusioni e suggerimenti	59

Tavole e figure

Planimetria zona ubicazione indagini	Fig. 1 (nel testo)
Schema geologico da Cremonini-Ricci lucchi	Fig. 2 (nel testo)
Sezione geologica profonda pianura modenese-reggiana	Fig. 3 (nel testo)
Carta Geomorfologica	Fig. 4 (nel testo)
Ubicazioni indagini in situ	Fig. 5 (nel testo)
Mappa pericolosità di alluvioni e degli elementi potenzialmente esposti (PGRA 1300/16)	Fig. 6 (nel testo)
Mappa del Rischio Potenziale (PGRA 1300/16)	Fig. 7 (nel testo)

Schede prove eseguite:

Schede prove penetrometriche Cpt	Nel testo	(vedi cap. relativo)
Scheda rilievo sismico passivo HVSR	Nel testo	(vedi cap. relativo)
Schede prospezione sismica (Masw)	Nel testo	(vedi fine report)

Allegati:

Atlante Fotografico indagini eseguite	a fine report
---------------------------------------	---------------

PREMESSA E INQUADRAMENTO

Lo studio geologico e sismico, oggetto della presente relazione è relativo al Piano Particolareggiato variante 2 Comparto A1 " area ex-nuova Silan" in Via meloni di Quartirolo, ubicato in comune di Carpi (MO).

Lo studio in oggetto, è stato commissionato ad integrazione di precedenti indagini geologiche eseguite sull'area (anno 2004), per la definizione dei parametri e verifiche sismiche, all'epoca non previste, ed è stato realizzato nel rispetto delle leggi nazionali, in materia di Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni:

- 1) Ord. P.C.M. n. 3274/2003 e succ. mod. e integrazioni.
- 2) DM 17-1-18 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC).
- 3) Istruz. Applicaz. NTC 17-1-08 Consiglio Sup. LL PP.

Committente:

ANDRIA S. Coop r.l.
AbitCOOP soc coop
Effemme Costruzioni Srl

L'area in analisi dal punto dell'assetto topografico presenta le seguenti caratteristiche:

- Pianeggiante,
- quote medie assolute del pc interno all'area (dedotto da CTR allegato) circa in corrispondenza della porzione settentrionale dell'areale in esame, corrisponde a 25.2 m slm

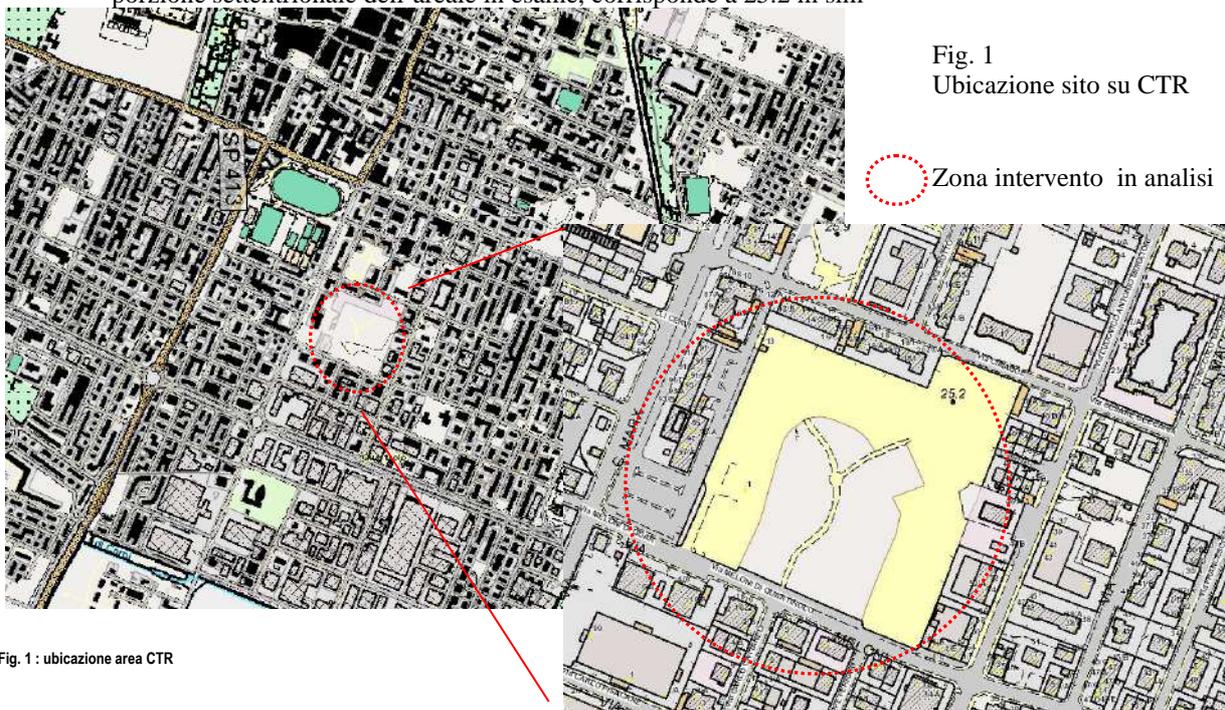


Fig. 1
Ubicazione sito su CTR

○ Zona intervento in analisi

Fig. 1 : ubicazione area CTR

CENNI DI GEOLOGIA TERRITORIALE

Inquadramento geologico strutturale

L'area in studio appartiene al bacino subsidente Pliocenico-Quaternario della Pianura Padana. Quest'ultima è suddivisa geologicamente in due complessi:

- **uno superiore**, con formazioni Oloceniche costituite da depositi clastici delle alluvioni dei fiumi alpino appenninici e quindi in facies continentale.
- **uno inferiore**, con successioni Pliocenico-Pleistoceniche con sedimenti in facies marina

Dette unità litostratigrafiche a livello regionale formano un'ampia struttura sinclinale (quindi con concavità verso l'alto), complicata in numerose pieghe e dislocazioni, che procedendo verso nord, passa a trust simili ad "anticlinale" (concavità verso il basso) con direttrici delle strutture prevalentemente appenniniche che, nell'insieme, determinano una struttura a carattere compressivo.

Tale assetto geologico strutturale, nella fascia centro settentrionale della provincia di Modena, è contraddistinto da:
 - alternanze di sabbie, limi e argille di origine alluvionale (età Pleistocene medio - Olocene RER & ENI-Agip, 1998).
 - substrato costituito da depositi marini e transizionali del Pleistocene inferiore e medio, riferibili alla Sabbie Gialle o Sabbie di Imola del margine appenninico-padano (RER & ENI-Agip, 1998).

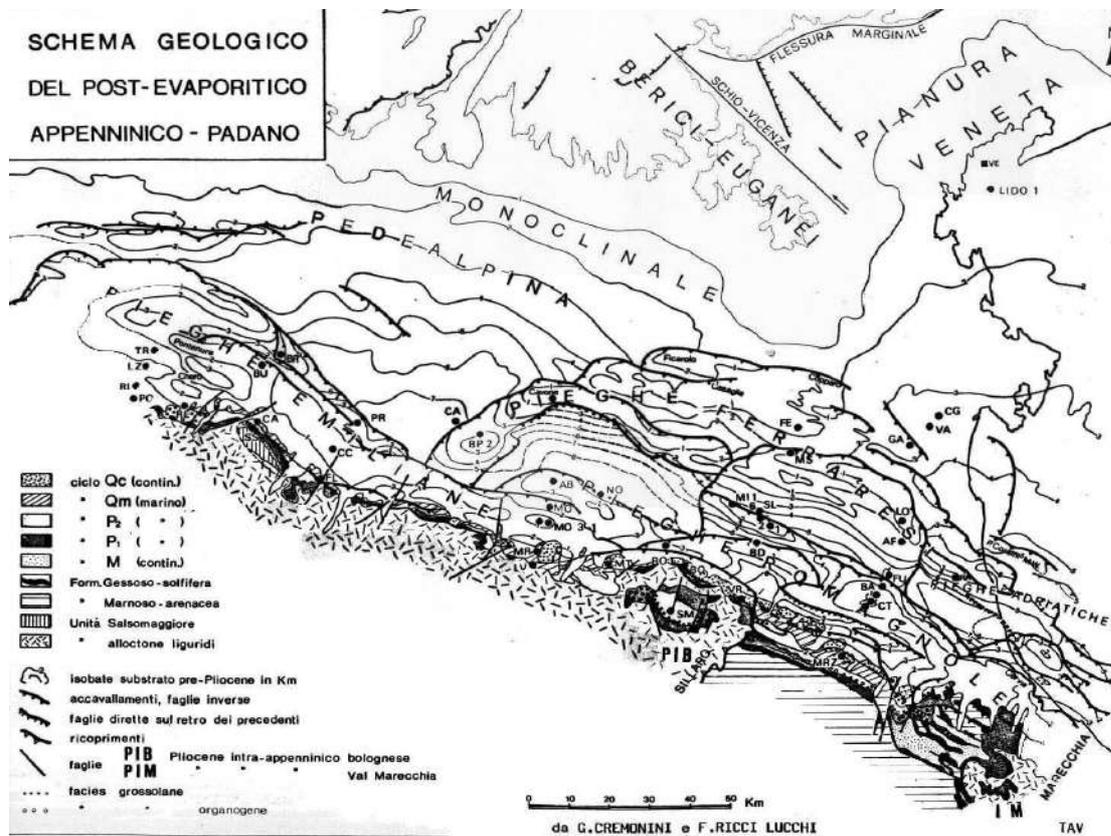


Fig. 2 : schemi geologici e tettonici

La profondità della base della successione alluvionale, rimarca la geometria della struttura cosiddetta delle "Pieghie Ferraresi"; infatti, nelle aree di sinclinale (conca) lo spessore delle alluvioni può superare anche i 500 m, mentre nelle aree di anticlinale (circa in corrispondenza del territorio di Mirandola) tale serie deposizionale, si può ridurre a circa 100 m (RER & ENI-Agip, 1998) od ancor meno, come ad es. in loc. Camurana ove sono presenti "solo" 70-80 m di copertura continentale.

Le formazioni litoidi descritte sono state interessate da movimenti neotettonici che però, in base ai dati pubblicati dal C.N.R. (Progetto Finalizzato Geodinamica), non risulta abbiano manifestato spostamenti (faglie attive) in superficie, nel settore oggetto dell'intervento.

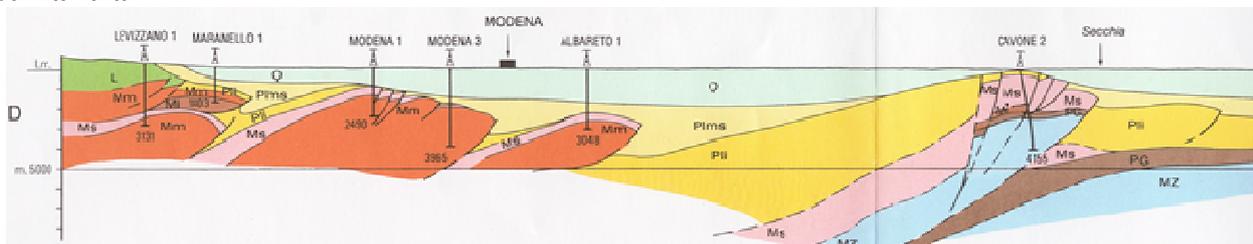


Fig.3 Sezione geologica profonda pianura modenese-reggiana (da Pieri e Groppi 1981) Q= Quaternario, P1ms=Pliocene mediosup., P1i= Pliocene inf., Ms= Miocene sup., Mm= Miocene medio, Mi= Miocene inf., PG=Paleogene, MZ= Mesozoico, L=Liguridi

Inquadramento geomorfologico

La successione dei livelli litologici più prossimi alla superficie topografica e di più recente deposizione, è costituita dai depositi alluvionali dei fiumi alpini ed appenninici.

Questi ultimi, nelle passate esondazioni, hanno deposto materiali con granulometria diversa in relazione alla distanza dalle fasce pedemontane.

Il settore in cui ricade il Comune di Carpi (MO), è attribuibile alla fascia deposizionale della Media Pianura Padana Appenninica,

formata in prevalenza da miscele di terreni fini, quali argille - limi e sabbie costituite in lenti discontinue, che si ripetono nel sottosuolo, per spessori anche maggiori di 200 ÷ 250 m, com'evidenziano le perforazioni di pozzi per acqua e prospezioni geognostiche di AGIP.

L'attuale assetto geomorfologico consegue in prevalenza dalle passate vicende fluviali del F. Secchia - T. Tresinaro. Si rilevano infatti due dossi a direttrice prevalente sud-ovest nord-est, osservabili ad oriente e occidente del capoluogo rispettivamente sub parallelamente al tracciato del Cavo Lama e del T. Tresinaro. Si tratta di paleovalvei (cioè antichi tratti fluviali estinti), inoltre circa 1,5 km a settentrione di Fossoli, si riscontrano aree morfologicamente depresse che costituiscono le fasce vallive di Carpi – Novi (cioè settori di deposizione che si trovavano lontano dalle antiche aste fluviali), ove in genere si depositavano i materiali più fini, che in tali aree possono costituire omogenee e continue unità argillose anche sino a profondità di 10-15 m.

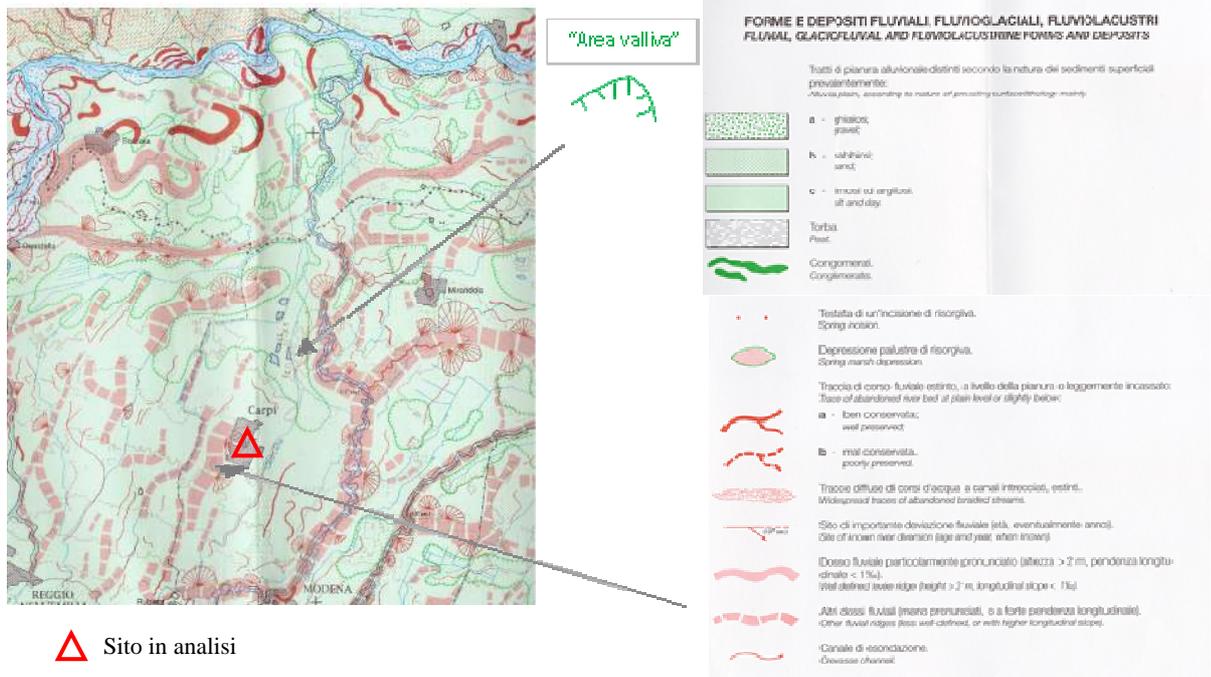


Fig.4 Carta Geomorfologica Stralcio da "Carta geomorfologica della Pianura Padana" (Foglio 2)

L'area in analisi è indicata dal triangolo rosso in fig. 4 si ubica immediatamente ad oriente del paleovalveo occidentale del Tresinaro, sopra descritto ad andamento SW-NE, nella successione dei livelli litologici della zona è quindi possibile attendersi in superficie orizzonti essenzialmente limoso argillosi, ai quali localmente possono intercalarsi lenti limosi e limoso sabbiosi e sabbioso limosi a spessore ridotto e scarsa continuità laterale a struttura spiccatamente lentiforme.

Cenni sulla profondità di falda

Il livello della falda freatica, rilevato nei fori delle prove penetrometriche riferito alla data di esecuzione (Giugno 2022), è risultato mediamente variabile fra 2/-3.5/4 m da pc esecuzione prove (in prove precedentemente eseguite nel 2004 per lo studio di fattibilità del Piano Particolareggiato era presente a prof. inferiori -1,6/-2,5 m da pc (cfr. studio Geotech di Fossoli).

In relazione alla profondità dell'acqua nel sottosuolo si osserva che, la presenza di orizzonti essenzialmente argillosi e argilloso-limosi nei primi 2 m da pc, può causare il confinamento localmente della falda e che come conseguenza può essere assente o molto rallentata la risalita di acqua, in scavi superficiali, spinti in genere nei primi 2/3 m di sottosuolo.

Per una definizione in dettaglio della profondità alla quale uno scavo, può intercettare il tetto della falda freatica, in particolare qualora nel progetto di costruzione siano previsti locali interrati o parzialmente interrati, si consiglia quindi di eseguire:

- preliminarmente al progetto esecutivo, scavi di prova sino alla profondità di 3/4 m e verificare la presenza di venute idriche e lo stabilizzarsi del livello idrico all'interno degli scavi, al fine di ottenere una puntuale e corretta profondità cui può posizionarsi il tetto di falda freatica, presente nel sottosuolo in tale settore.

Tali scavi di prova dovranno ovviamente essere eseguiti al di fuori della zona di prevista realizzazione delle fondazioni e richiusi al termine del rilievo.

IPOTESI MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

METODICA E CRITERI GENERALI

Le indagini geognostiche CPT eseguite nel sito in analisi, hanno permesso di evidenziare gli aspetti geologico-geomeccanici del primo sottosuolo e di riconoscere le caratteristiche del “volume significativo di terreno” al di sotto delle zone di prevista edificazione. Sono stati anche indagati 30 m di sottosuolo dal punto di vista sismico.

In base a quanto previsto dal testo NTC 17-1-18 (Cfr. cap. 2.4.2 classi d'Uso), dato gli scopi dell'indagine finalizzata alla, “realizzazione edificio” *il cui uso prevede NORMALI affollamenti*, si possono utilizzare i seguenti parametri:

Vita Nominale (V_N):	≥ 50 anni
Classe d'uso (C_U):	II coeff. 1
Periodo riferimento azione sismica (V_R):	$V_N * C_U = \geq 50$ anni
Verifiche allo Stato limite ultimo di resistenza del terreno	GEO
Approccio di calcolo 2 combinazione UNICA	coeff. parziali A1, M1 R3
Stato limite di esercizio previsto	SLV (salvaguardia della Vita)
Probabilità di superamento evento sismico (P_{VR})	10%
Limite periodo di ritorno (TR) per SLV	475 anni

Per il calcolo della capacità portante della fondazione (come previsto da NTC 17-1-18), si ricorda che, con la parametrizzazione sopra esposta, la struttura e/o gli edifici futuri dovranno, per la verifica dello stato limite di resistenza della struttura (verifica STR), prevedere che le azioni di progetto in fondazione derivanti da un'unica analisi strutturale, siano calcolate mediante **l'uso dei coefficienti parziali del gruppo A1.**

IPOTESI di Verifica stato limite ultimo (SLU-GEO)

Per individuare le caratteristiche litologico meccaniche dei terreni in corrispondenza delle previsione di edificazione del Piano di via meloni di Quartirolo in analisi, in base alle possibilità operative è stato possibile eseguire 13 prove penetrometriche CPT tipologia M (sistema di misura meccanico), disposte come concordato con progettista strutturale ed in base alle possibilità operative al momento di esecuzione delle stesse, come esposto in Fig. 5:



Fig. 5: Ubicazioni indagini insitu

Le prove cpt sono state effettuate utilizzando un penetrometro statico di tipo olandese, conforme alla certificazione CE, da 200 KN, mod. TG73/200.

- Dispositivo di spinta: 200 kN;
- Sistema acquisizione dati con cella a trasduttore di pressione e lettura digitale;
- Punta con manicotto di Begemann (Friction Sleeve Cone);
- Anello allargatore sulla seconda/terza asta.

Le cpt, hanno raggiunto profondità variabili in relazione alla presenza superficiale di uno strato a spessore differenziato di materiale di terra mista a riporto antropico (sopra indicato in colore ciano in Fig. 5), che durante l'esecuzione delle penetrometriche ha reso difficoltoso l'ancoraggio dello strumento e la non perfetta penetrazione delle eliche di ancoraggio nel terreno più superficiale, causando in alcuni punti di prova, la perdita di verticalità del penetrometro, durante la prosecuzione della prova in profondità, imponendo l'interruzione della prova prima delle profondità previste (-15 / -20 m da pc).

Nelle singole schede delle prove sotto allegate sono indicate lo spessore di diporto superficiale e la causa dell'interruzione della prova stessa.

I dati geotecnici sono rilevabili negli allegati log penetrometrici, contraddistinti da:

- ◆ log di destra tratto continuo = Resistenza alla punta: qc (kg/cmq).
- ◆ istogramma di sinistra = Resistenza unitaria ad attrito laterale: fs (kg/cmq).
- ◆ log di sinistra punti = Rapporto di Begemann o Indice delle Resistenze: qc/fs .

In base al rapporto di Begemann che indica la litologia dei terreni sondati, è stato possibile riconoscere la successione litostratigrafica di ogni verticale di indagine, che hanno messo in evidenza una discreta variabilità laterale sia del materiale di riporto frammisto a terreno più superficiale, sia della presenza di strati lenticolari a scarsa resistenza presenti nei primi 4-5 m di sottosuolo. A seguire le schede delle prove eseguite nel contesto della presente analisi e loro proposta interpretativa secondo profili litostratigrafici ubicati come indicato in Fig. 5.

USCS:

TERRENI A GRANA GROSSA	Tritumento al setaccio n.200 > 50%	pass. 200 < 5%	Cu ≥ 4 e 1 < Cc < 3		GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaia e sabbia
			Cu ≥ 4 e/o Cc > 3		GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
TERRENI A GRANA FINE	% Ghiaia > % Sabbia Tritumento al setaccio n.4 > 50%	5% < pass. 200 < 12%	Cu ≥ 4 e/o 1 < Cc < 3	% fine ML o MI	GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita
				% fine CL o CH	GW-GC	Ghiaia argillosa ben assortita
		pass. 200 > 12%	Cu < 4 e/o Cc > 3	% fine ML o MH	GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita
				% fine CL o CH	GP-GC	Ghiaia argillosa poco assortita
		pass. 200 > 12%	Cu < 4 e/o Cc > 3	% fine ML o MH	GM	Ghiaia limosa, miscela di ghiaia sabbia e limo
				% fine M e C	GC-GM	Ghiaia limosa e argillosa
	% fine CL o CH	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla			
	% Sabbia > % Ghiaia Passante al setaccio n.4 > 50%	pass. 200 < 5%	Cu ≥ 6 e 1 < Cc < 3		SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose
			Cu < 6 e/o Cc > 3		SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
		5% < pass. 200 < 12%	Cu ≥ 6 e 1 < Cc < 3	% fine ML o MH	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
				% fine CL o CH	SW-SC	Sabbia argillosa ben assortita
		pass. 200 > 12%	Cu < 6 e/o Cc > 3	% fine ML o WI	SP-SM	Sabbia limosa poco assortita
% fine CL o CH				SP-SC	Sabbia argillosa poco assortita	
% fine ML o MH	SM	Sabbie limose miscela di sabbia e limo				
% fine M e C	SC-SM	Sabbie limose e argillose				
% fine CL o CH	SC	Sabbia argillosa miscela di sabbia e argilla				
Passante al setaccio n.200 > 50 %	w _L < 50 %	Inorganico	Ip > 7 sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità	
			4 < Ip < 7 sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità	
			Ip < 4 sotto Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità	
	w _L ≥ 50 %	Inorganico	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità	
			sotto Linea A	MH	Limi inorganici	
			Organico w _L (essiccato)/ w _L (naturale)	OL	Limi organici: argille limose organiche di bassa plasticità	

LEGENDA TR  b

Asc 

A/AL-LA 

AA 

Sf/L 

A+LAT 

Terreno superficiale misto a riporto
b: riporto probabile?

Argilla superficiale poco consistente

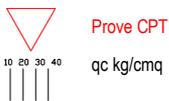
Argille ed argille limose

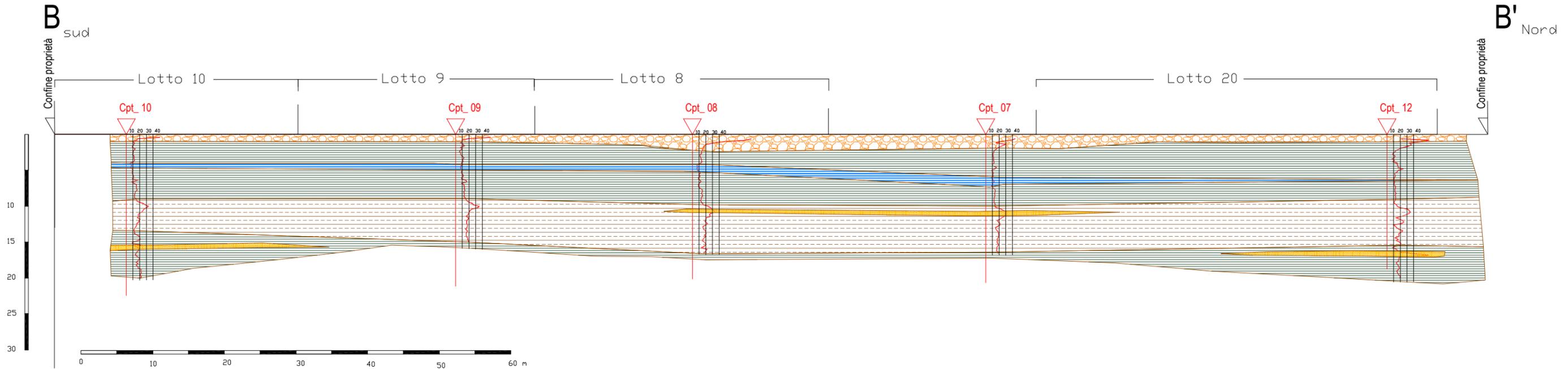
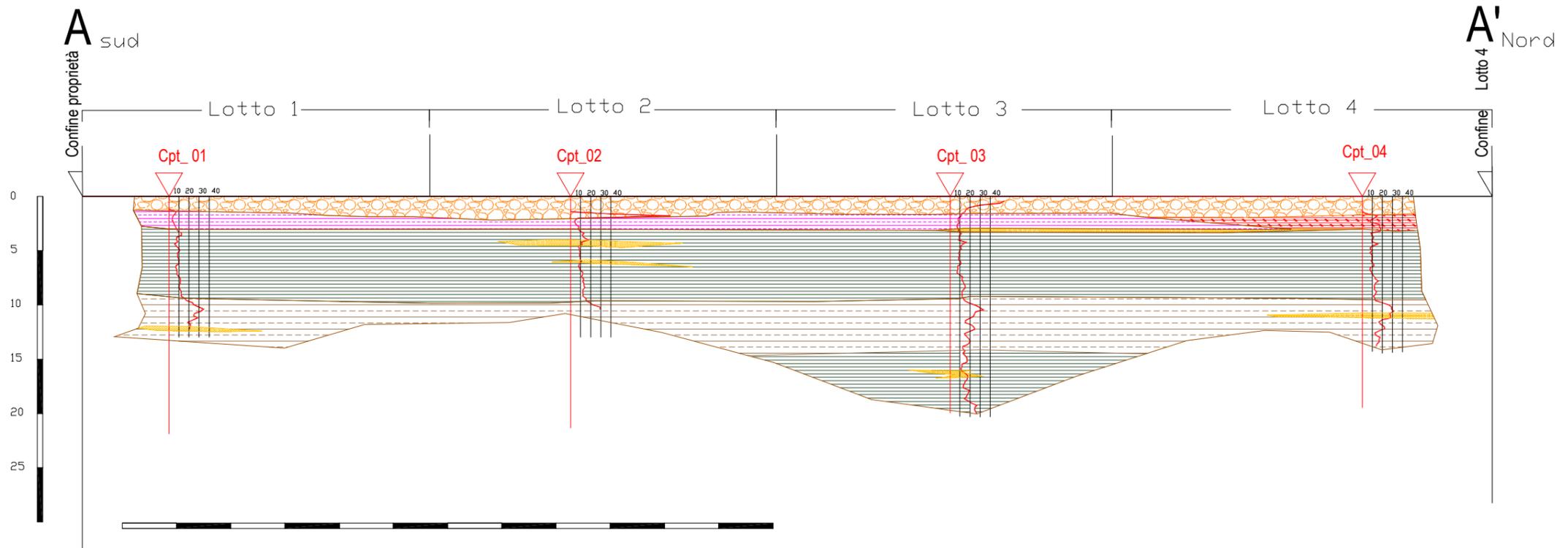
Argille consistenti (in genere a prof. >9 m)

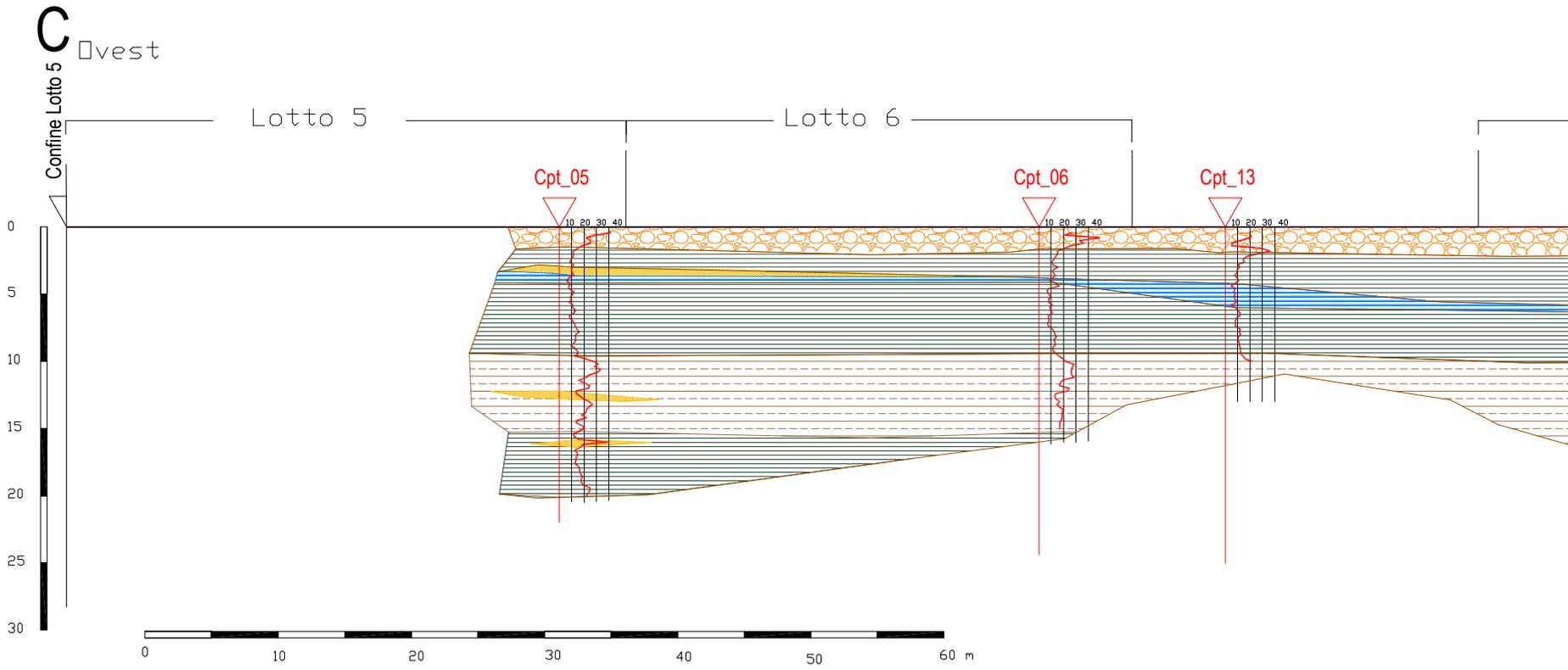
Sabbie fini e Limi sabbiosi/limi argilloso sabbiosi

Argille e LA Torbosi alta compressibilità

Indagini geognostiche eseguite





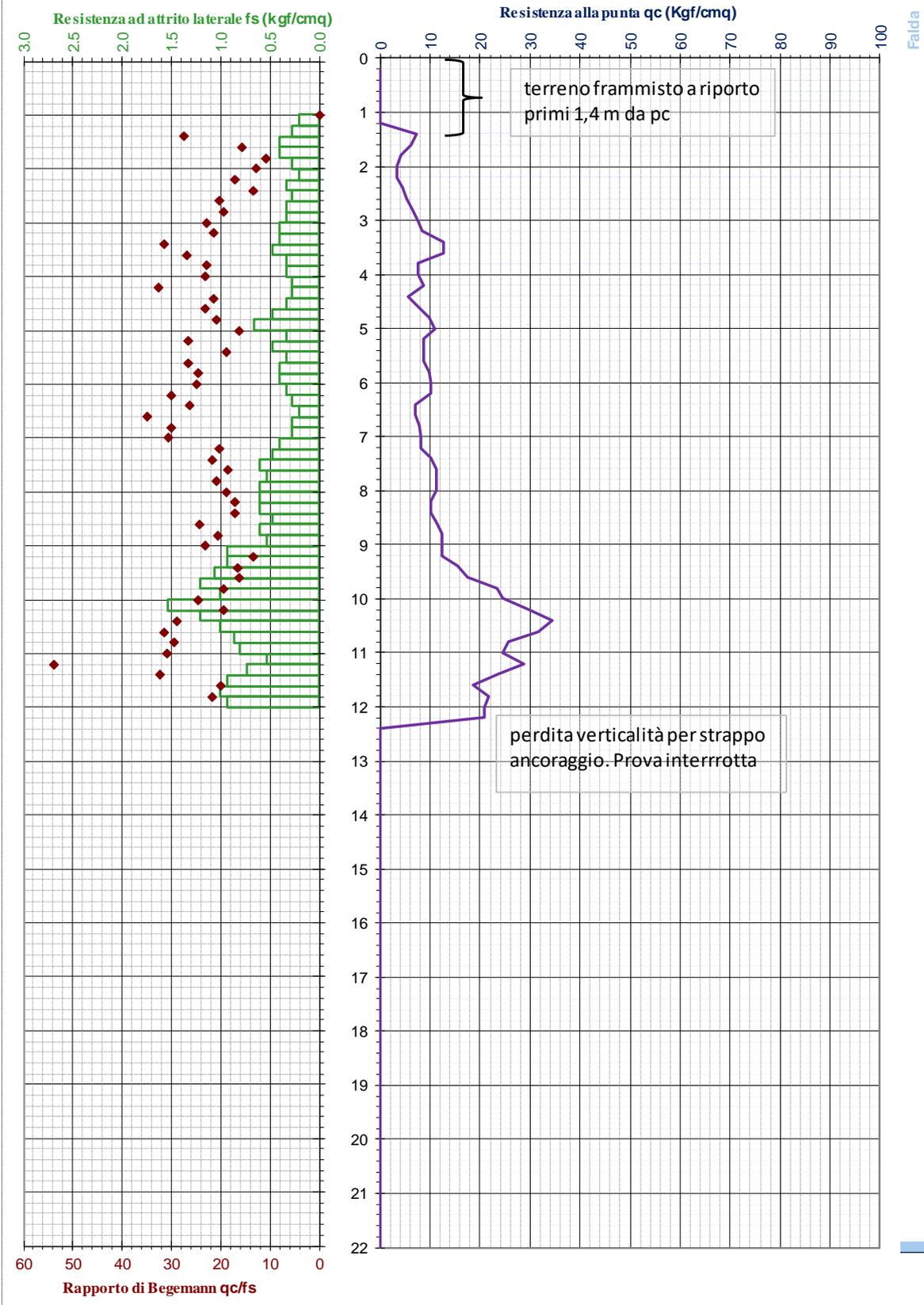


TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova (axt) CPT n° 01

QUOTA RIF: PC
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

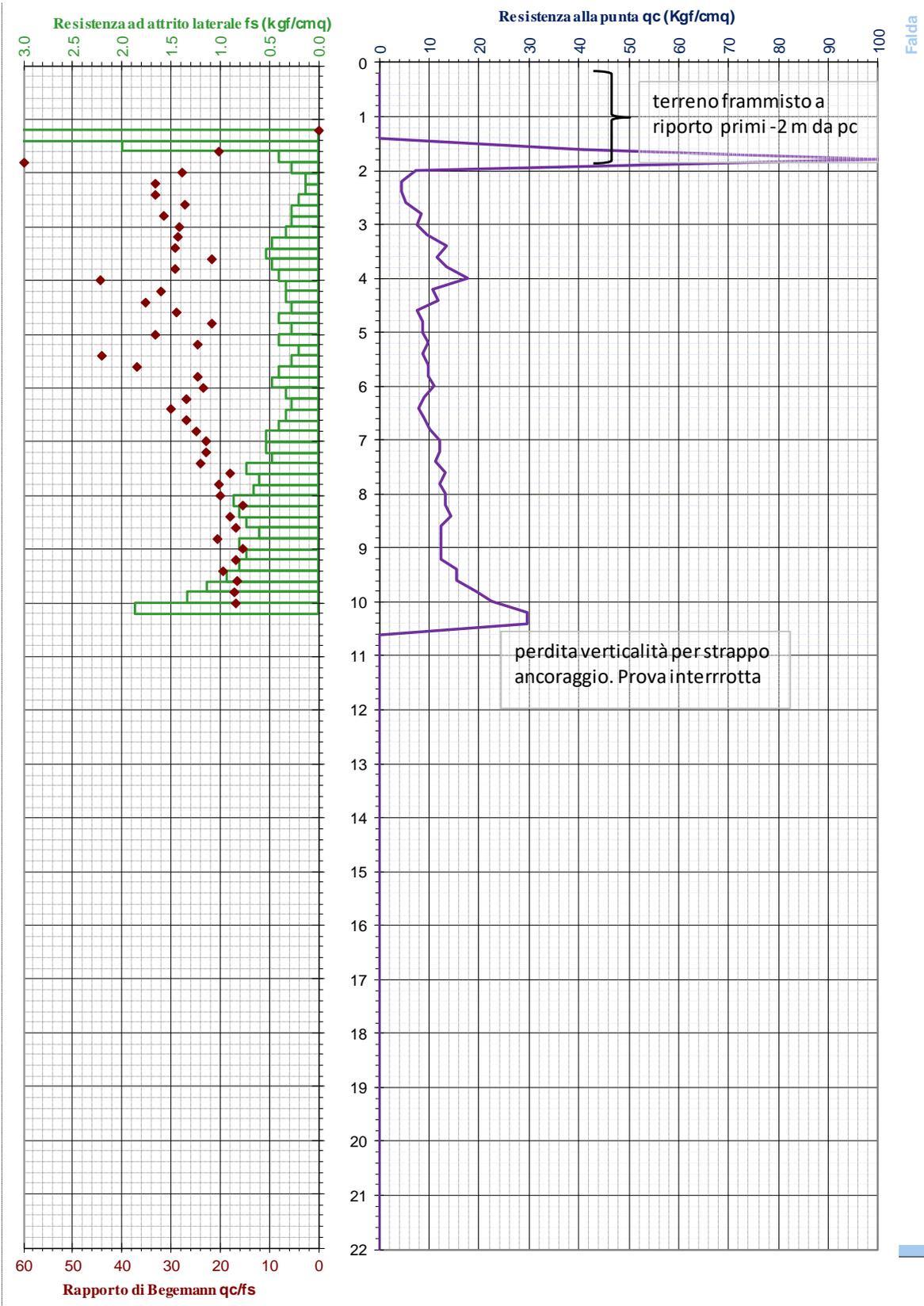
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova (CPT) n° 02
 QUOTA RIF: PC
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

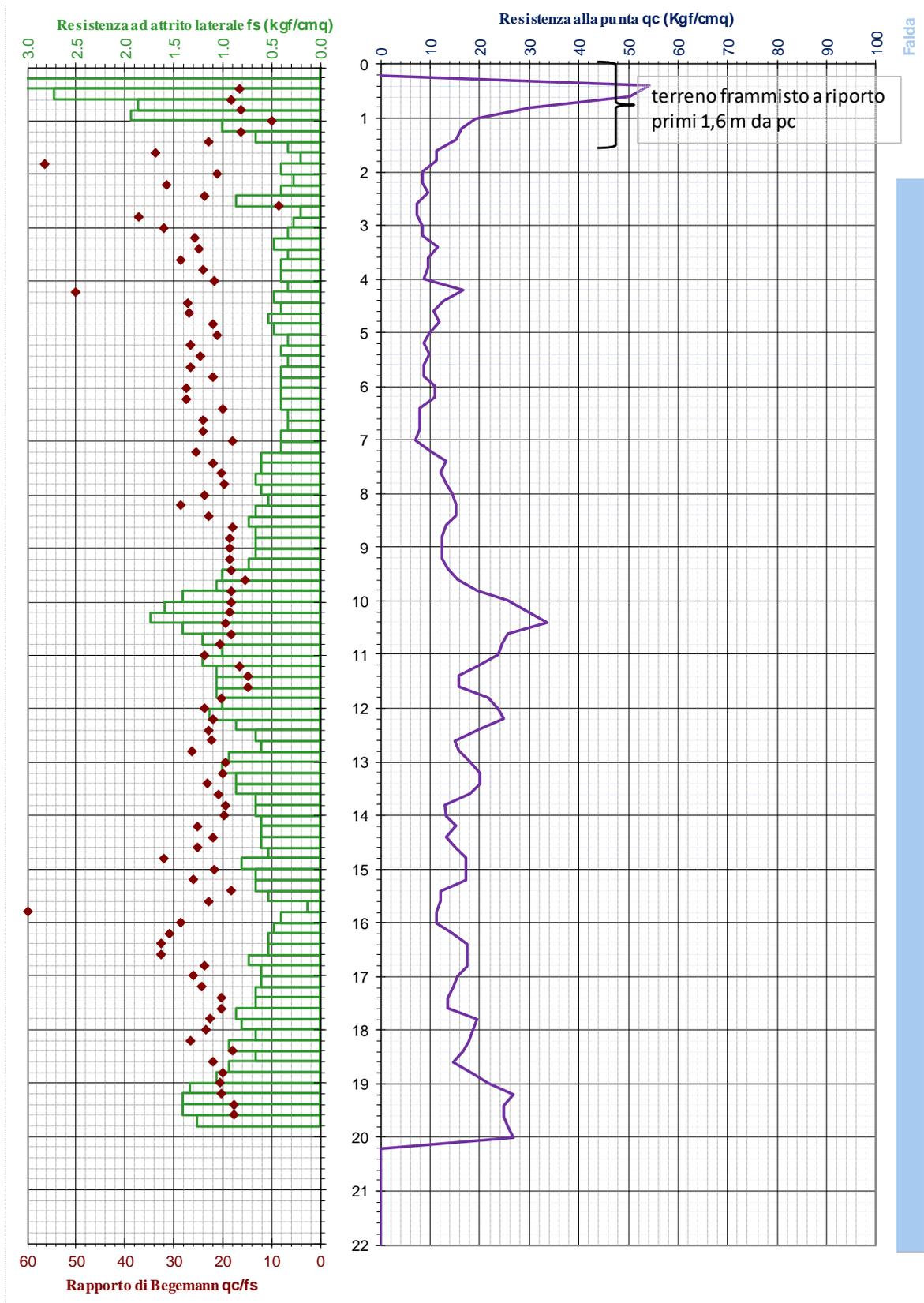
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova (a+z) CPT n° 03
 QUOTA RIF: piano campagna
 DATA: 10-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena

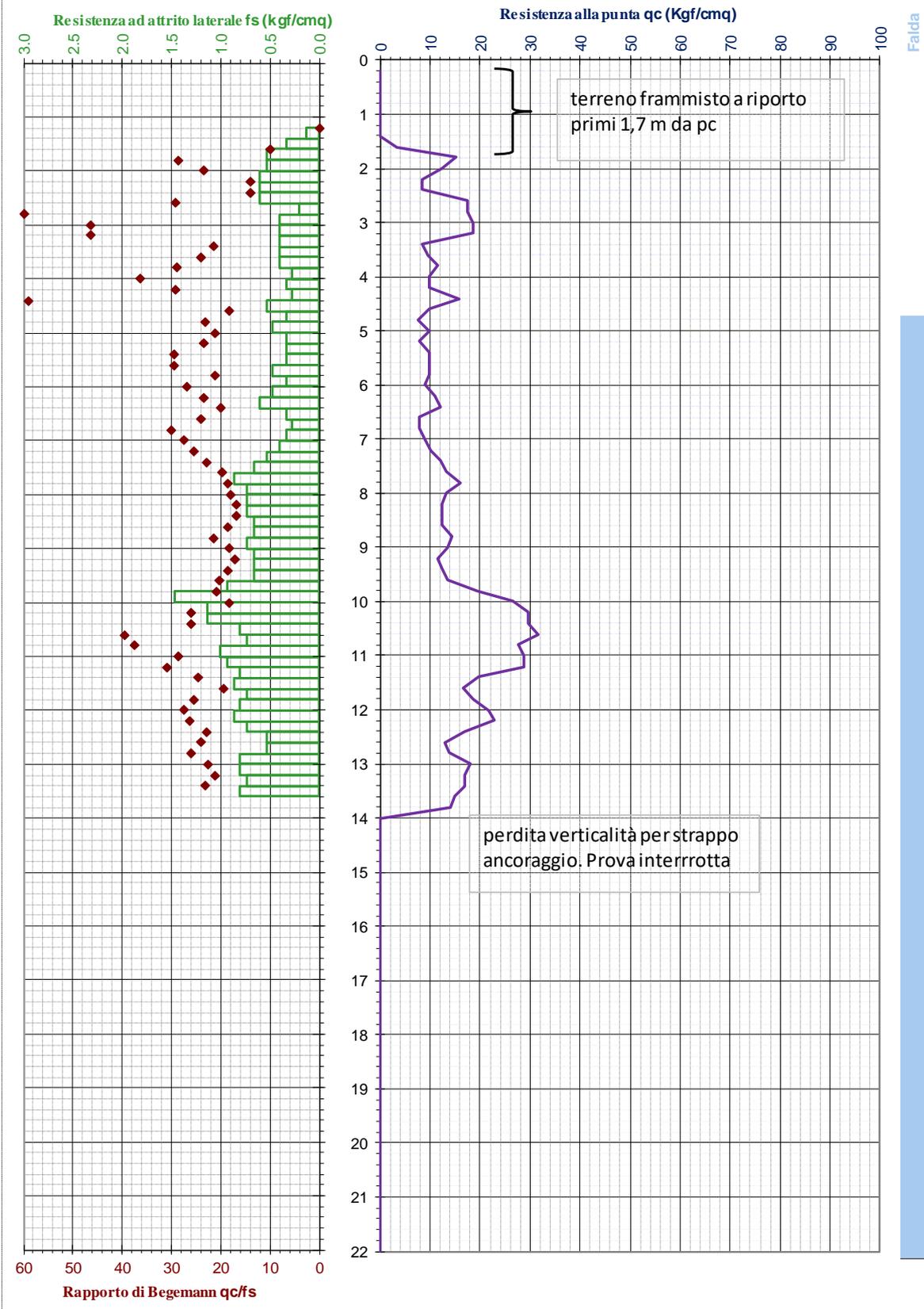


TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova ^(axt) CPT n° 04

QUOTA RIF: PC
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

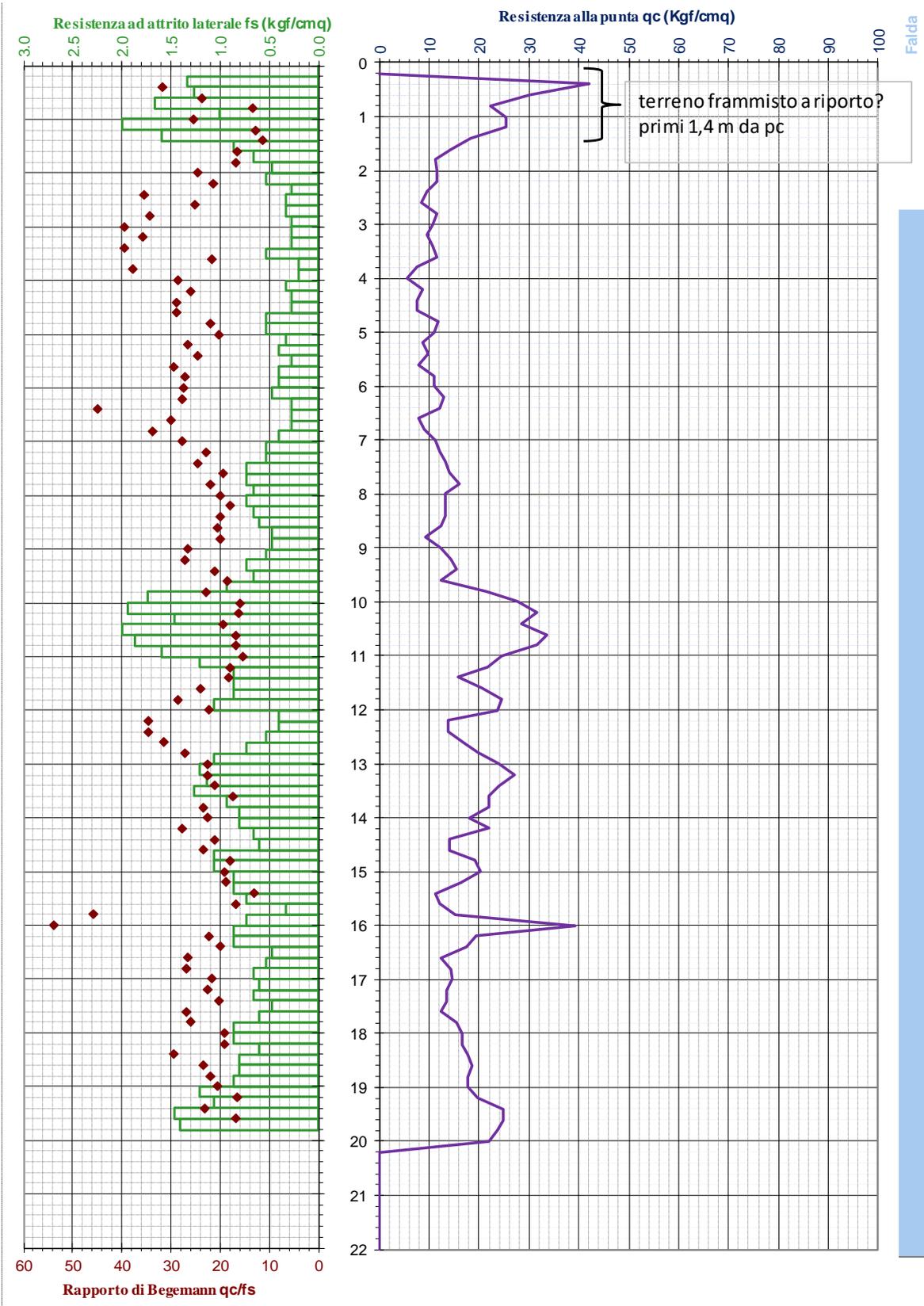
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova ^(a+s) CPT n° 05
 QUOTA RIF: piano campagna
 DATA: 10-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

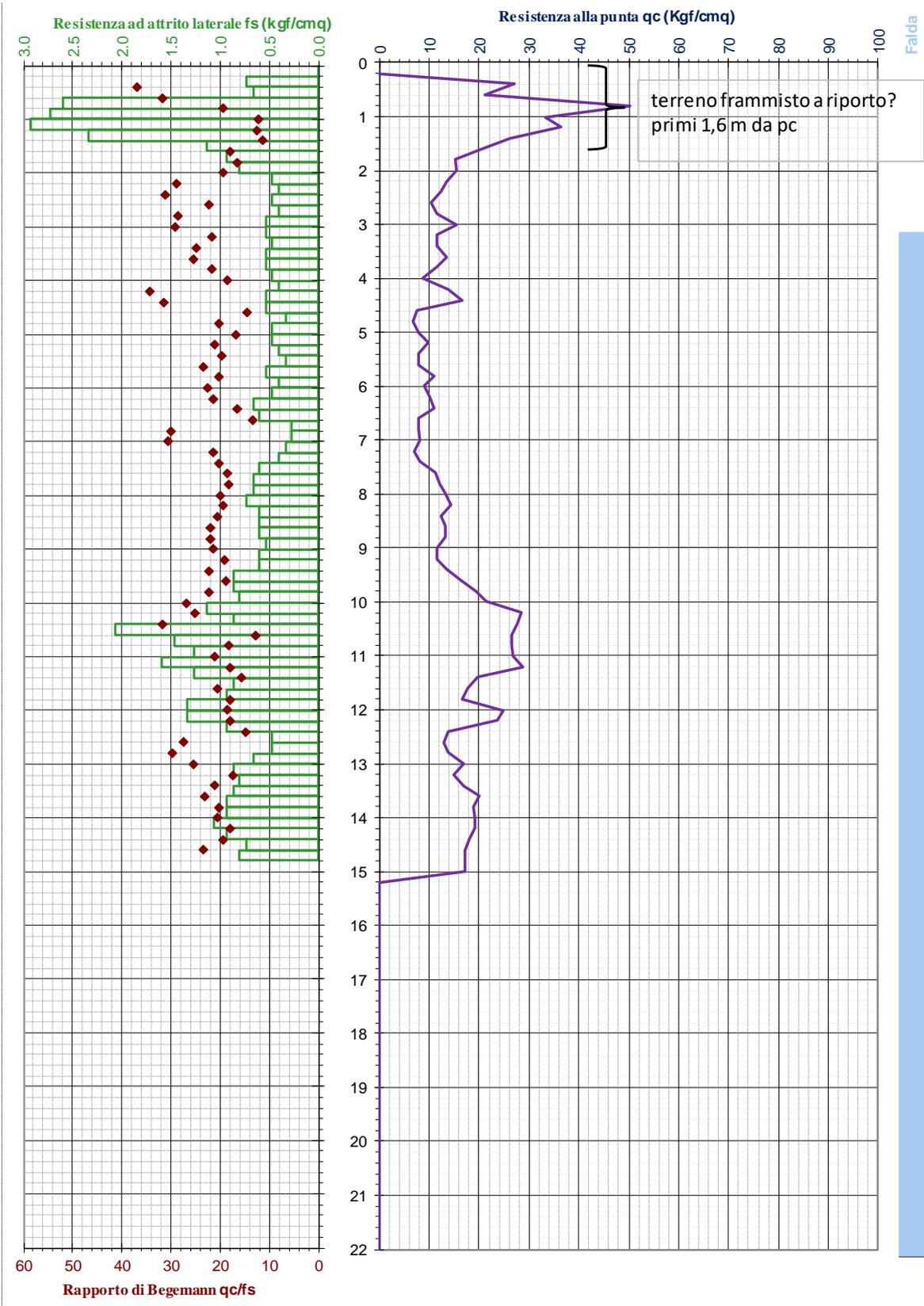
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova ^(axt) CPT n° 06
 QUOTA RIF: piano campagna
 DATA: 10-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

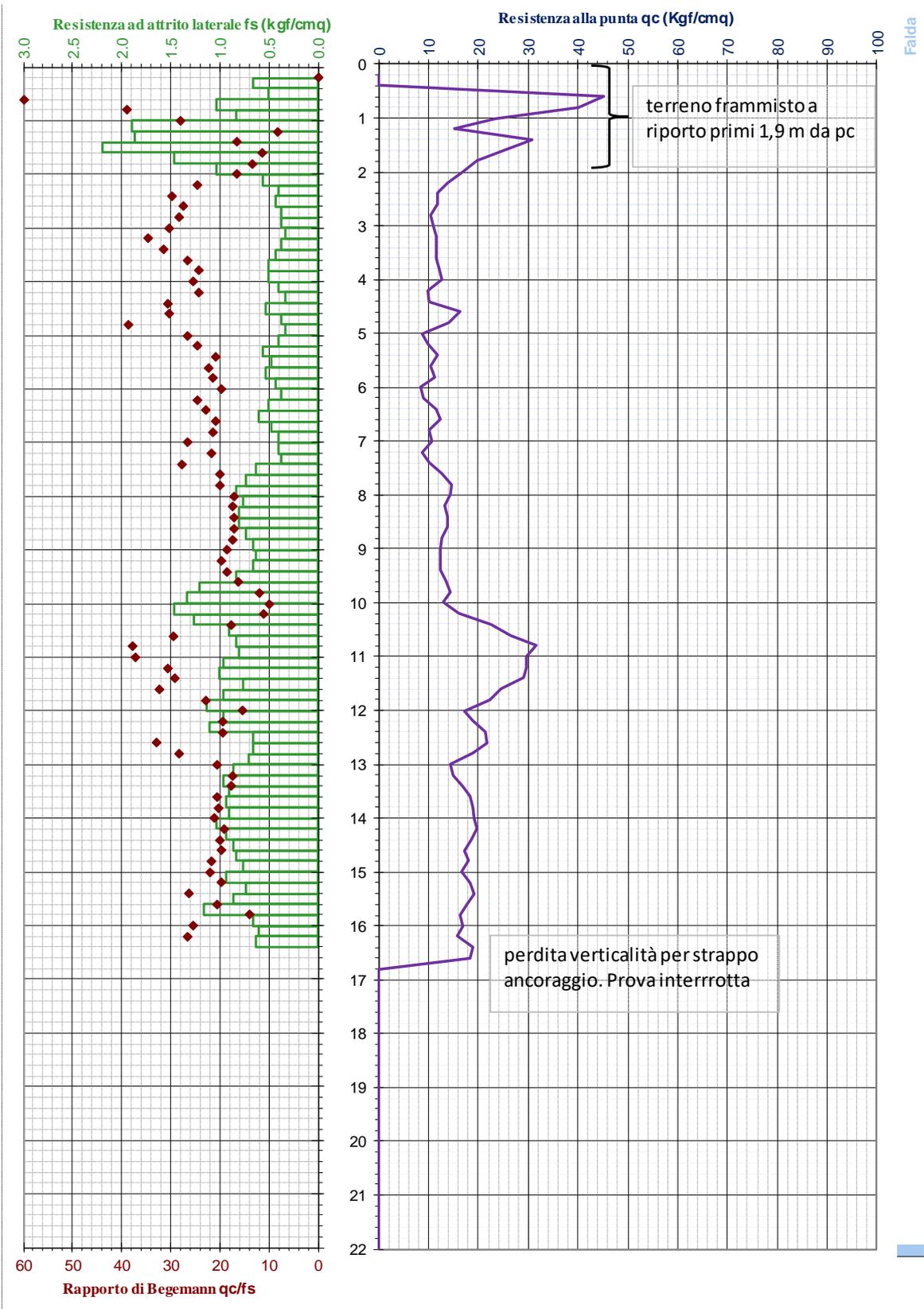
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogefisica.com
 info@tecnogefisica.com

Prova ^(a+s) CPT n° 07
 QUOTA RIF: P.c.
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena

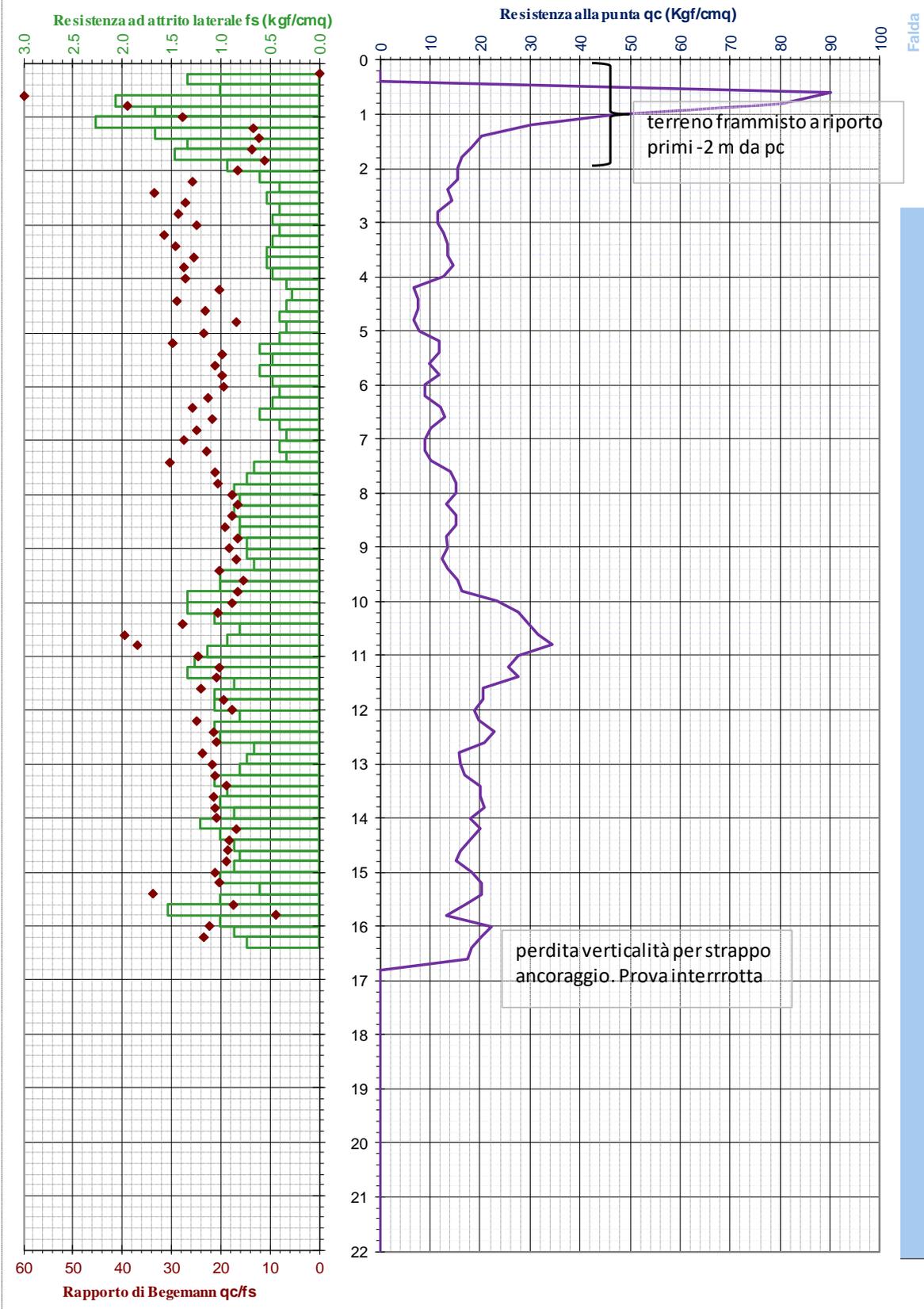


TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova (axt) CPT n° 08

QUOTA RIF: pc
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

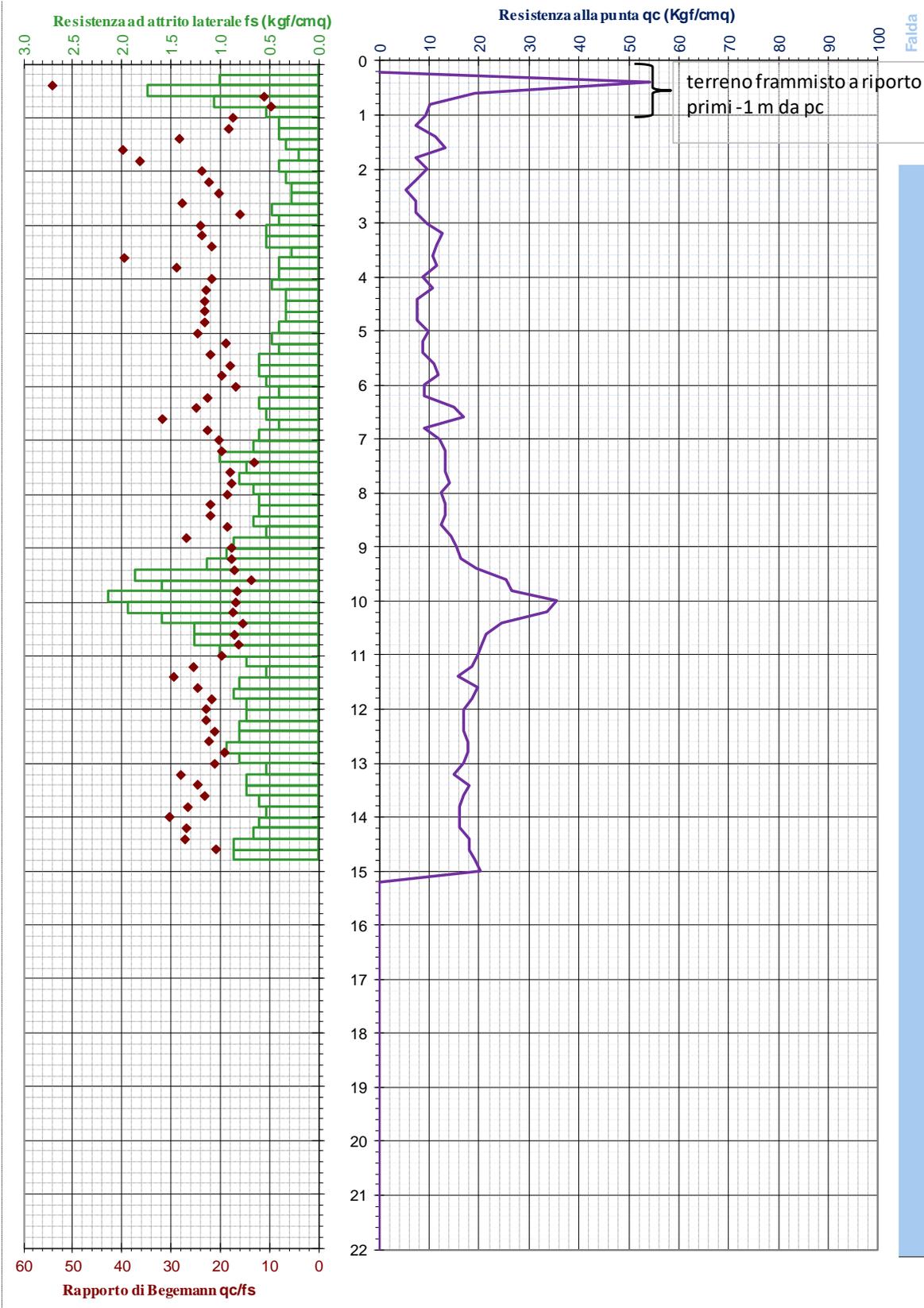
Prova (a-z) CPT n° 09

QUOTA RIF: piano campagna
 DATA: 10-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:

Andria_AbitCoop

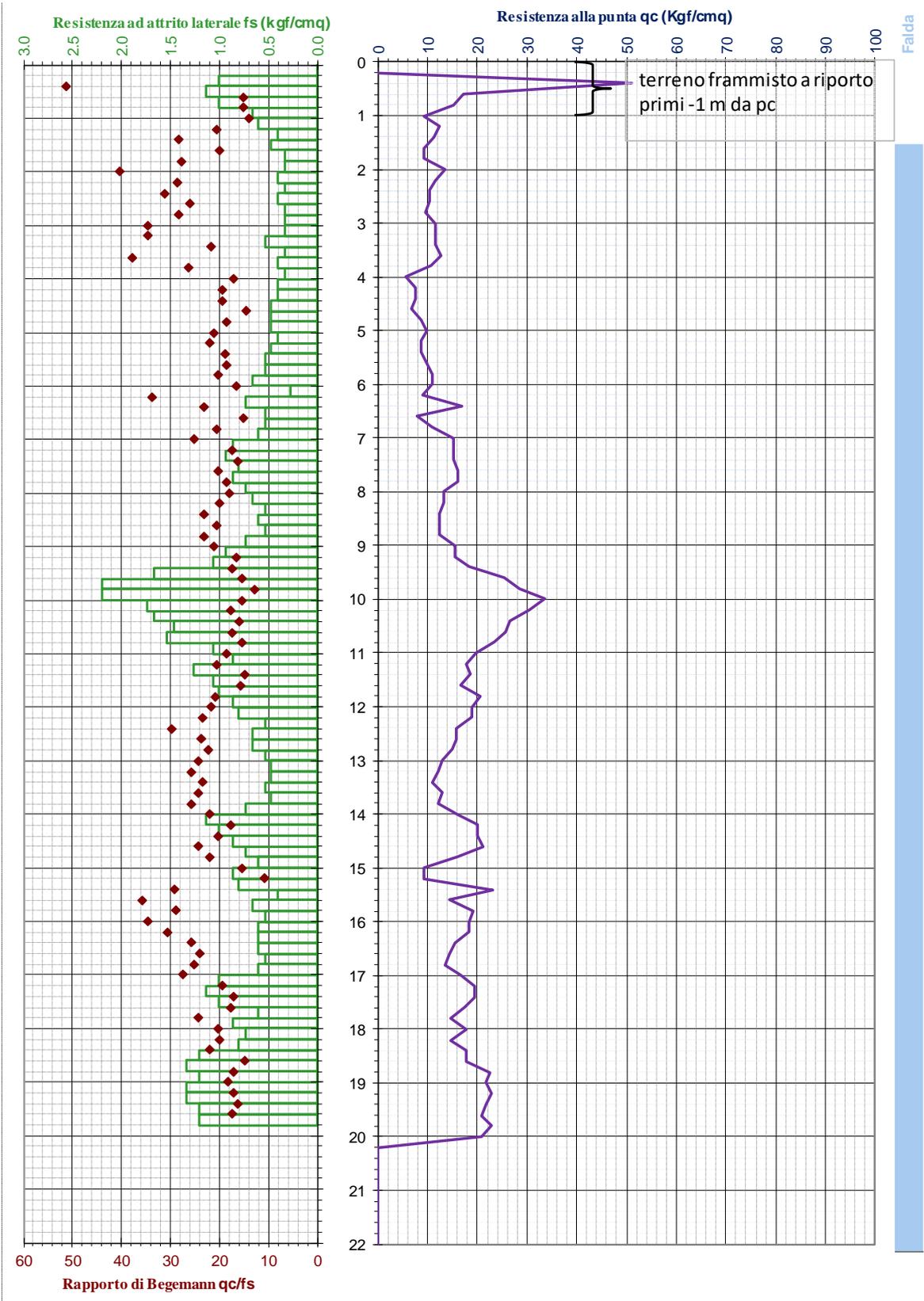
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova ^(a+z) CPT n° 10
 QUOTA RIF: piano campagna
 DATA: 10-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

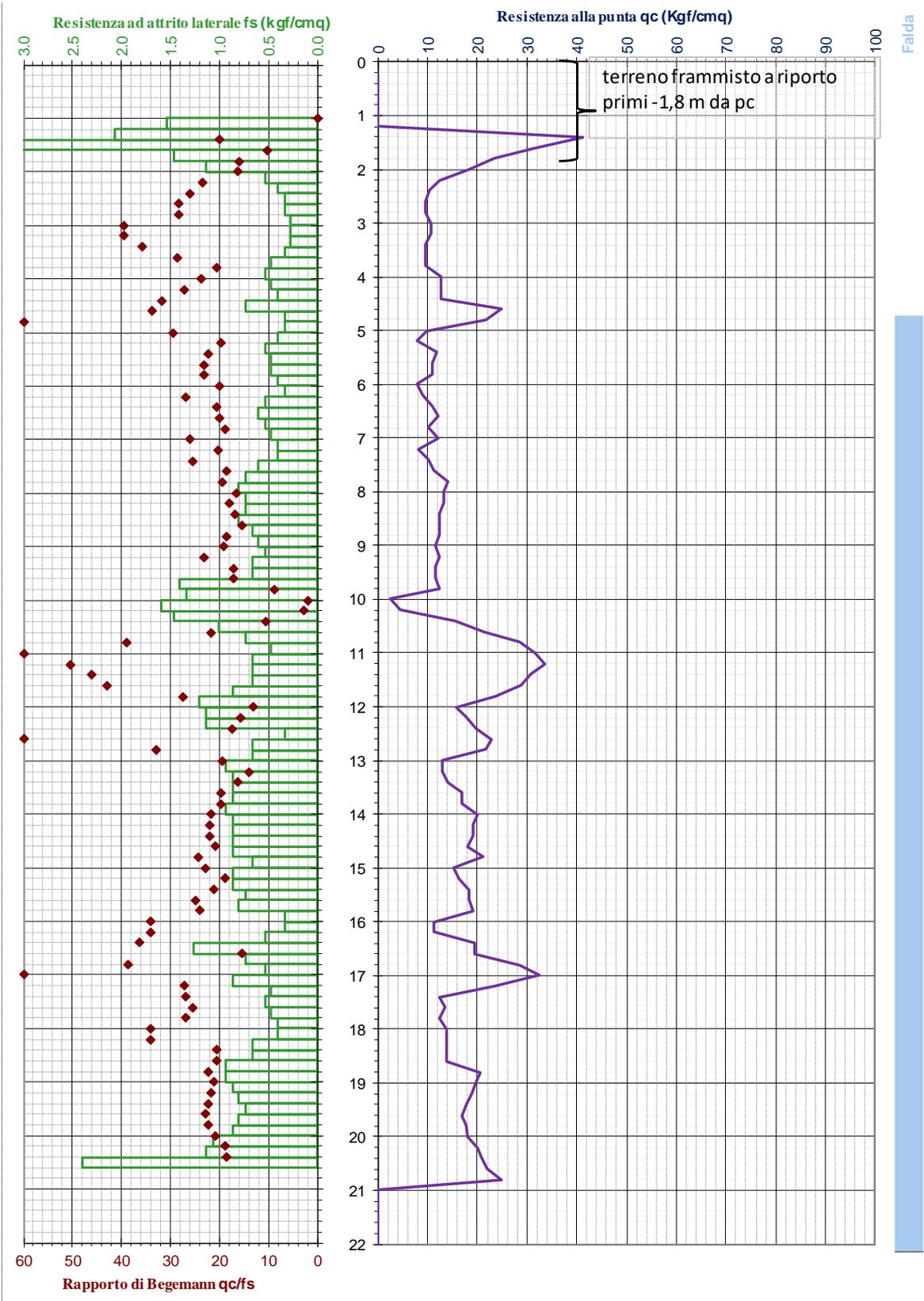
COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova (a+z) CPT n° 011
 QUOTA RIF: piazzola -0.8 pc
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

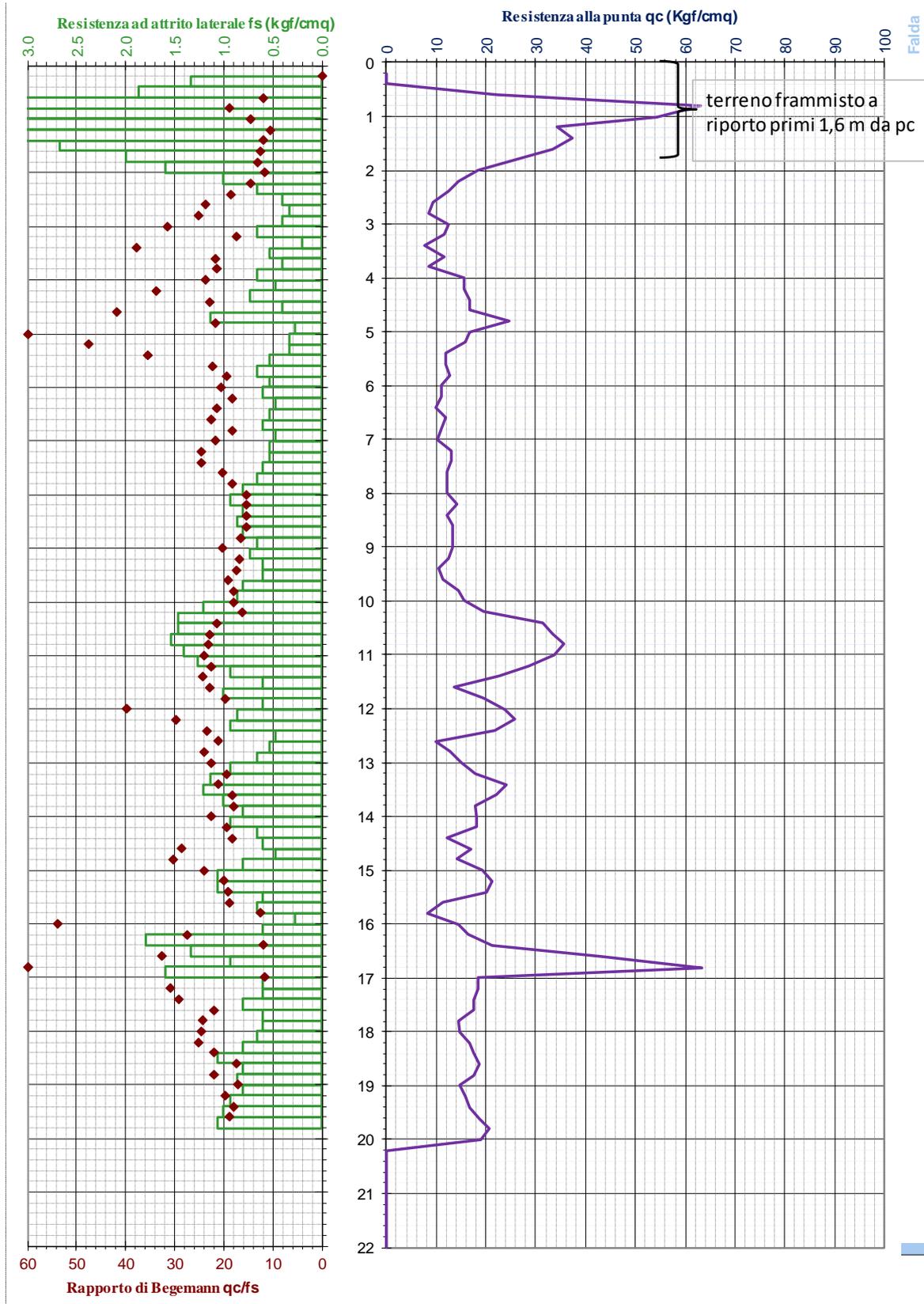
Prova (axt) CPT n° 012

QUOTA RIF: pc
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:

Andria_AbitCoop

Correggio_Modena

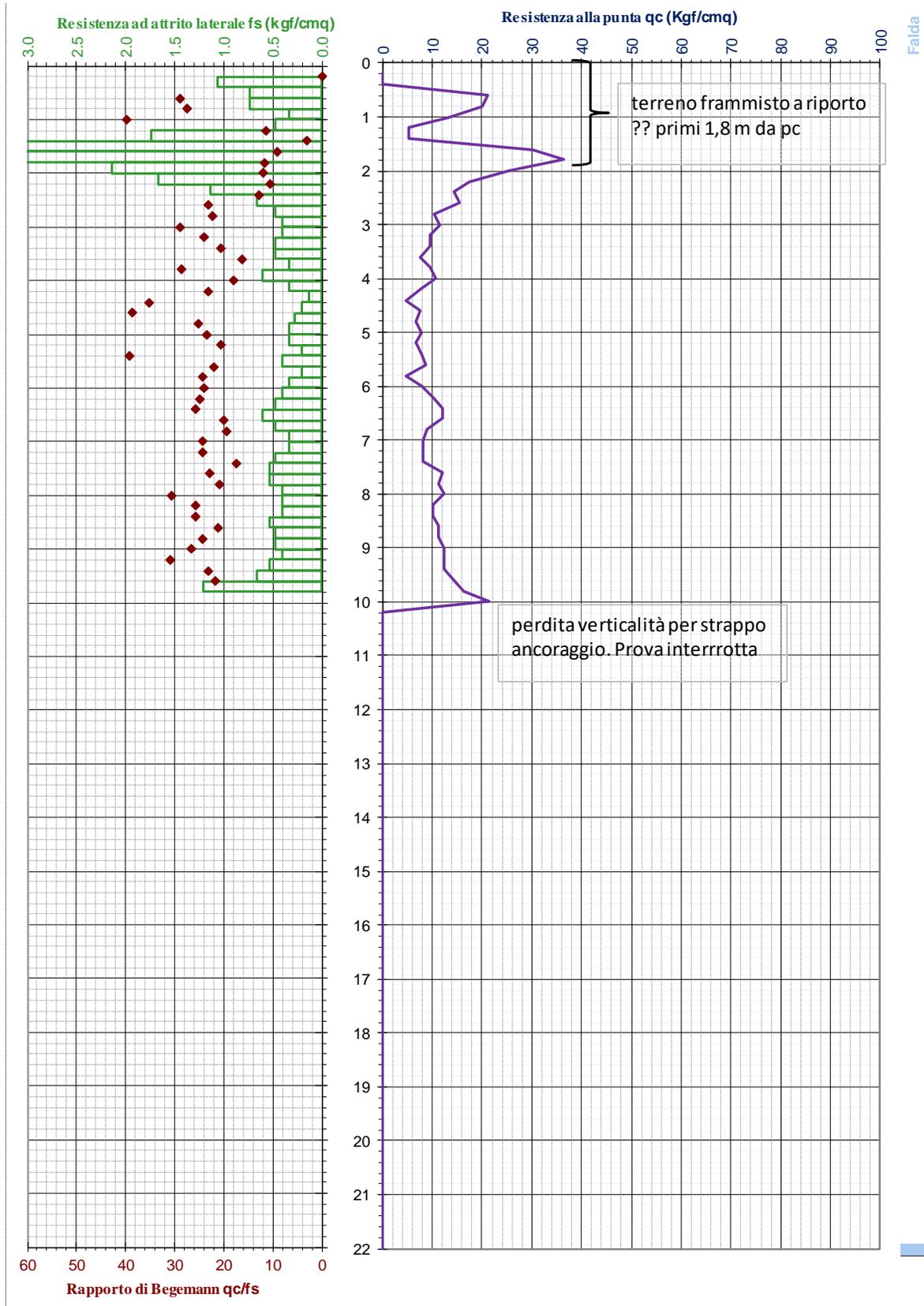


TECNOGEOFISICA S.n.c.
 via S. Cattania 1/A - Carpi (MO)
 www.tecnogeofisica.com
 info@tecnogeofisica.com

Prova ^(axt) CPT n° 013

QUOTA RIF: pc
 DATA: 27-giu-22
 CANTIERE: Via Meloni Q - Carpi MO

COMMITTENTE:
Andria_AbitCoop
Correggio_Modena



Il primo sottosuolo al di sotto delle fondazioni, può quindi essere discretizzato secondo i caratteri granulometrici e di resistenza sopra esposti nelle schede allegate, da cui è possibile ricavare i valori c_u , c' e ϕ' caratteristici, secondo l'approccio statistico del 5° percentile, in genere si consiglia di utilizzare per i valori caratteristici:

- una distribuzione "Normal" per valori di ϕ e γ
- una distribuzione "log-Normal" per valori di c_u , c' .

Dai valori caratteristici, secondo i coefficienti parziali (M1), si può passare ai valori geotecnici di progetto (C_{ud} , c'_d , γ_d e ϕ'_d).

In fase di progettazione esecutiva dovrà essere effettuata (da progettista come indicato da NTC18), l'analisi di scorrimento sul piano di fondazione, successivamente alla definizione delle sollecitazioni strutturali verticali ed orizzontali alla base della fondazione stessa.

In relazione alla presenza nella sequenza litologica evidenziata dalle prove Cpt effettuate, che nei primi 2-3 m, hanno rilevato livelli argillosi frammisti a terreno di riporto antropico, ed inoltre è emersa la presenza in particolare nel settore nord e est del comparto (profili B-B' e C-C') di alcune intercalazioni lenticolari argilloso-torbosi e/o limoso-argillose a bassa consistenza, si consiglia di assumere parametri geotecnici per la progettazione delle fondazioni, medio minimi e strutture fondali adeguate (es. consolidamento del sottosuolo mediante tecnica jetting e/o fondazioni profonde), in grado quindi di assorbire, locali cedimenti differenziali (anche post sismici).

In ogni caso è da evitare la posa delle fondazioni negli strati di terreno-riporto più superficiali evidenziati nei profili allegati (circa primi 3 m di sottosuolo).

Inoltre per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa, le componenti verticali di tali spostamenti (cedimenti) assumono valori valutabili in relazione alle dimensioni fondali e devono corrispondere ai valori fissati per le caratteristiche prestazionali, scelte per la struttura in elevazione.

Il progettista delle strutture, nella progettazione esecutiva, in accordo con la committenza, ed in relazione alla tipologia strutturale-fondale che sarà scelta, dovrà in fase esecutiva, verificare la congruità fra carico strutturale di progetto (E_d), cedimento S_d calcolato (o di progetto) e quest'ultimo dovrà risultare congruente alla soglia massima tollerabile (S_c) stabilita dal progettista-committente, per soddisfare le caratteristiche prestazionali attribuite alla struttura in analisi.

[Si ricorda che la verifica agli stati limite di esercizio (SLE) potrebbe risultare più restrittiva di quella allo stato limite ultimo (SLU)].

Verifiche sismiche (Ntc/18)

Caratterizzazione Sismica del Territorio

Con riferimento alla caratterizzazione sismica della zona d'intervento e del territorio comunale, si ritiene utile puntualizzare quanto segue:

- ◆ la nuova Ordinanza P.C.M. n° 3274 del marzo 2003, pubblicata Suppl. Ord. N° 72 della G.U. n° 105 del 8/5/03, contiene le norme ed i criteri generali per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale, con classificazione per la Regione Emilia Romagna di 105 comuni in zona 2 (di cui 16 di nuovo inserimento), 214 comuni in zona 3 (tutti di nuovo inserimento) e 22 comuni in zona 4 (tutti di nuovo inserimento).
- ◆ In base ad All. 1 ed alle relative "Norme Tecniche" dell'Ordinanza 3274 DPCM sono distinte 4 zone, caratterizzate ognuna da una propria accelerazione d'ancoraggio dello spettro sismico di risposta elastico; il comune di **Carpi** è stato classificato in zona 3 con accelerazione orizzontale d'ancoraggio (a_g/g) pari a 0,15.
- ◆ dal 1-7-09 è entrato in vigore le nuove Norme tecniche per le Costruzioni (NTC) del 14-1-08 e relativi allegati, aggiornate dal NTC 2018 uscito il 17-01-18 ed operativo dal 22-3-18, quindi in riferimento alla caratterizzazione dell'azione sismica del sito d'intervento, si devono preliminarmente valutare:
 - eventuali possibili fenomeni di instabilità e di cedimento permanenti, causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento o fenomeni di amplificazione locale in caso di terremoto (art. 2.5 All.2 e art. 2.3 All. 4 vedi O.P.C.M. 3274/03 e O.P.C.M. 3431/05)
 - nell'ambito della valutazione dello Spettro di Risposta Elastico per tutti i nuovi interventi, deve essere determinato il parametro S della normativa del 2003 (a seconda del profilo stratigrafico e topografico del terreno) quindi stabilire la Categoria del suolo di fondazione (in base a quanto disposto dal art. 3.1 All. 2 vedi O.P.C.M. 3274/03 e NTC 17-1-18).

Indagini sismiche direttamente eseguite

Lo scopo dello studio, è la determinazione in sito della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio-onde S) dei terreni in esame, per la caratterizzazione sismica dell'area in oggetto come sotto indicato:

- ◆ N. 1 stesa di acquisizione sismica Masw (V_s)
- ◆ N. 1 rilievo sismico passivo HVSR (strum. tromino) definizione frequenza fondamentale vibrazione sottosuolo

Indagine sismica Masw

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW appositamente eseguita, nel sito d'intervento, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame e da queste si ottiene una corretta caratterizzazione della categoria sismica, del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro Cross-Hole e/o Down-Hole).

La tecnica non invasiva sismica (Masw), è una tecnica di superficie, ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di V_s per caratterizzazione sismica del sito (NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo.

Tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine sino (alle volte) anche a cento metri (Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie, che invece più interessa.

Diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008) per terreni alluvionali quali quelli in oggetto, segnalano inoltre che sistemi d'acquisizione in sismica passiva, sono poco idonei, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, per la definizione del profilo v_s /profondità, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante.
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, parquet ecc.

In base a quanto sopra, per caratterizzare in modo corretto il sottosuolo, dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata un'indagine:

prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva)

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta lunghezza (Compreso il punto di shot) e geometria come sotto indicato:

Masw_via Garagnani

❖	Numero geofoni	24	
❖	Spaziatura geofoni	2.0 m	
❖	Lunghezza stendimento geofonico	46	
❖	Distanza punto di shot da ultimo geofono	10 m	
❖	Lunghezza complessiva	56	m

Con tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (VR) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di R. costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R=0,9\div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

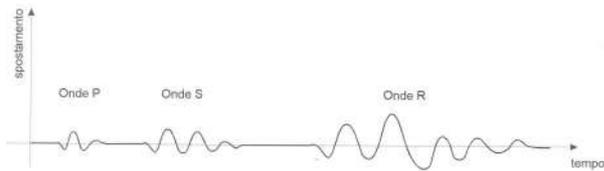
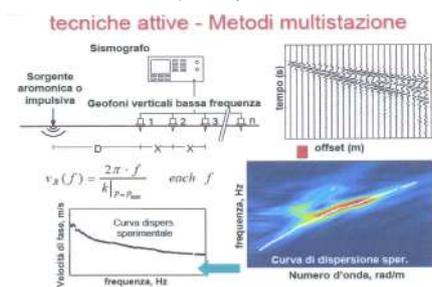


Fig. 6 : sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica (alla stregua di un "piccolo sisma") e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di Vs viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (VR in funzione della frequenza).



In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$, tramite programmi di elaborazione, è convertito in profili Vs / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

Prospezione MASW onde di Rayleigh

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente a bassa frequenza - 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s , ottenuti dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh, che sono registrati ai sismometri.

A tal proposito onde evitare erronee credenze, è utile fare alcune precisazioni circa la tecnica Masw:

1. le basi teoriche della tecnica di Acquisizione Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dai postulati alla base delle classiche indagini sismiche in onde P od S (simica a riflessione o rifrazione).
2. nell'acquisizione con tecnica Masw, non è quindi possibile attribuire alla tecnica un classico coefficiente geometrico, che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi).
3. nelle Masw invece **NON SI MISURANO DEI TEMPI** ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k.

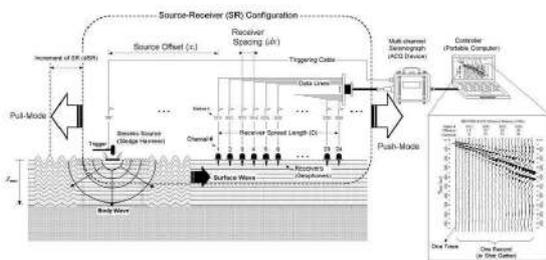
A chi opera correntemente ed utilizzando criteri di qualità in campo sismico, è noto infatti che è assolutamente controproducente imporre l'uso di array lunghi o esageratamente lunghi, in modo particolare se per far questo, a causa della presenza di stratigrafia variabile lungo la stesa, i ricevitori collocati nella prima parte dell'array danno informazioni discordanti con quelle ottenute dall'ultima parte dell'array, in questi casi, sono quindi da considerarsi poco utili ed fonte di un cospicuo segnale di disturbo.

La sorgente di shot che è sempre posizionata esternamente all'array, fa parte integrante della lunghezza della stesa (infatti nell'elaborazione si deve sempre esplicitare la distanza dello shot dal 1° geofono) ed è posta ad una distanza che deve essere un buon compromesso tra alcune problematiche:

- se la sorgente dello shot è troppo vicina all'array, l'approssimazione di onda piana, specialmente per i primi geofoni dell'array (molto vicini alla sorgente) può difficilmente ritenersi valida, quindi nella fase di elaborazione dei dati, possono prodursi risultati affetti da errori.
- la soluzione al problema precedente potrebbe **teoricamente** essere quella di portare la sorgente molto lontano, (almeno 10 volte la lunghezza dell'array), ma sfortunatamente sarebbe richiesta una potenza (da associare all'energizzatore) troppo elevata, difficilmente attuabile soprattutto quando si opera in ambito urbano.
- questo tema è molto acceso e discusso da vari autori ma praticamente inconcludenti, in quanto è dimostrabile (con simulazioni matematiche) che non può esistere una soluzione univoca.
- si può quindi considerare come IDONEA (o minima) la distanza tra sorgente e 1° geofono es. a 2 o 3 volte la spaziatura degli stessi, ottenendo in tal modo un incremento di acquisizione e di risoluzione sugli strati superficiali, mentre portando lo shot a 5 o 8 volte la spaziatura, si ottengono dati e maggior risoluzione per una analisi in profondità.
- con spaziatura dei geofoni ridotta, per ottenere dati in profondità si può aumentare la distanza del punto di energizzazione, avendo a disposizione prove dirette (CPT-DPM sondaggi ecc.) che consentono il miglioramento e la taratura della risoluzione superficiale.

I geofoni possono quindi essere spazati da 0,5 sino ad un max di circa 8-10 m (in funzione come sopra ricordato del sistema di energizzazione) e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata (Fourier) si ottiene lo spettro nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, e da quest'ultimo, dall'analisi cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali di Rayleigh, che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, tramite "analisi spettrale".

Si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Analisi spettrale mediante Picking dei punti dello spettro, per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori (se presenti).
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.

- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma SWAN utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero molto buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un max di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale è l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e mediante le tarature apportate, fortemente rappresentativo, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

I dati della prospezione Masw ed in particolare il grafico "velocità sismica Vs – profondità", è contenuto nella allegata scheda:

Prospezione Sismica di Superficie –MASW (Mw_ex-Silan)

ove sono riportati:

- ◆ Committente, cantiere, località, nome file, strumentazione utilizzata e caratteristiche indagini, data, direttore lavori e i risultati dell'elaborazione:
- ◆ Sismogramma misurato in campagna rappresentato nel dominio spazio/tempo
- ◆ Spettro FK - Frequenza (Hz) / Numero d'onda (rad/m)
- ◆ Sovrapposizione tra curva dispersione e curva teorica dominio Frequenza (Hz)/Velocità di Fase (m/s)
- ◆ Grafico del modello della velocità – Velocità Vs (m/s) / Profondità (m)

Osservazioni e Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio per ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie, pozzi ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti.
- Esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le Vs dei singoli strati, perché in tal modo si **annienta** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati.
- Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate:

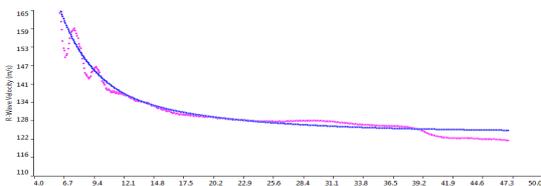


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

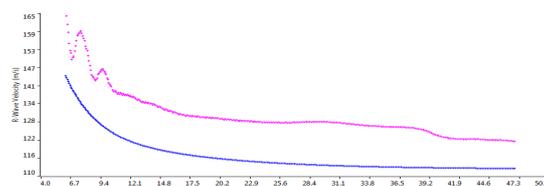


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE

Le curve di dispersione sopra esposte sono riferite ad un **generico** sito, con stratificazione a 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con coefficienti di Poisson assegnati uguali nelle 2 simulazioni (variabili fra 0.45-0.48); nell'esempio sopra riportato si otterrebbe infatti una $V_{S30} \approx 188$ m/sec [grafico a sinistra - **elaborazione corretta**] e $V_{S30} \approx 170$ m/sec [grafico a destra - **completamente fuori fitting**].

Categorye di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto [V_{S30}]).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, per la caratterizzazione del sottosuolo basata sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio Vs.

Da tale analisi (metodo sismico attivo-MASW) si rileva un tendenziale progressivo lento incremento con la profondità dei relativi

valori di velocità delle onde Vs, di seguito riassunti:

Mw_ex-Silan

strato n°	Velocità onde S (V _s)	Profondità base strato (m)	Spessore singolo strato (m)
1	150	1.56	1.56
2	160	6.50	4.94
3	170	10.50	4.0
4	200	13.20	2.70
5	218	23.40	10.2
6	245	30.0	6.60

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 17-1-18), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{S,eq} (in m/s) dall'espressione:

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

Dove:

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{Si} = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

H=profondità del substrato, caratterizzato da V_S≥800 m/s

Poiché nella zona in esame la profondità H del substrato è superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio V_{S,eq} è stata definita dal parametro V_{S,30} ottenuto ponendo H=30 nella formula suddetta, ed ottenendo la V_{S,30}, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo

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

Si è quindi ottenuto in base ai dati sopra esposti, ed in considerazione di quanto previsto da art. 3.2.2 NTC18, "Per le fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, o in caso di fondazioni su pali alla testa dei pali....", quindi non conoscendo attualmente i particolari costruttivi del progetto, in base alle indagini geognostiche eseguite sull'area si IPOTIZZA il piano di posa fondale ad almeno -2.0 m da pc:

Prospezione MW_ex-Silan V_{S,30}= 197 m/sec (da -0.0 a -30.0 m)

V_{S,30}= 204 m/sec (da -2.0 a -32 m)

Da cui si evince che il valore di V_{S,30} ottenuto, corrisponde alla **categoria del suolo di fondazione di tipo C** (cfr. All2 Ord. PCM 3274/03 e art. 3.2.2 DM 17-1-18), poiché tale categoria è caratterizzata da valori di V_{S,30} variabili fra 180 e 360 m/sec, nel caso poi che le fondazioni vengano previste a profondità superiori (a quelle ipotizzate) il valore di progetto del V_{S,30} risulterà comunque incrementato quindi sempre in categoria di suolo di fondazione di tipo C.

Indagine sismica passiva HVSR (Microtremori)

In base alla necessità di valutare il confronto fra la frequenza fondamentale del sottosuolo ed eventualmente valutare una profondità approssimativa del bedrock sismico della zona di interesse è stato eseguito n. 1 punto di stazione per l'acquisizione dei microtremori sismici, su terreno naturale come di seguito descritto:

- Tromino ex-Silan

(ubicazione vedi Fig. 5).

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "TROMINO"®, certificato e coperto da brevetto internazionale.

Tale strumentazione appositamente progettata e costruita da MoHo srl, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura di vibrazioni antropiche, indotte su strutture (norma Din4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione

digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit.

Queste caratteristiche strumentali consentono una elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Praticamente si tratta di installare solidalmente il Tromino® al suolo (nel caso di misure per la frequenza del sottosuolo) o di appoggiarlo, eventualmente mediante l'uso di piedini regolabili (nel caso di misure di frequenza su strutture con pavimentazioni non perfettamente orizzontali) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito e/o la tipologia d'indagine in analisi.

Per le misure sul suolo si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore max ipotizzato non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo $T=2$ sec.

Pertanto per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

E' opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minime di 15 minuti per il terreno e di 5-6 min. per le misure eseguite sulle strutture.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo 'Grilla®. (appositamente sviluppato da MoHo srl), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2005).

I passi principali sono:

- ◆ uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- ◆ analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico)
- ◆ eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).
- ◆ calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:
 - eliminazione segnale di eventuali offset
 - calcolo spettri di Fourier
 - Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva
 - Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O - verticale
- ◆ Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard.
- ◆ Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- ◆ Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni d'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" che mette in evidenza (se presenti) picchi di amplificazione del segnale ($HVSR \gg 1$) dovuti alla presenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza sismica fra gli strati che innescano amplificazioni del segnale sismico.

Il valore finale del HVSR in funzione della frequenza espresso nel grafico è indicato da una linea rossa che indica la media RMS delle componenti orizzontali rispetto alle verticali, mentre l'intervallo di confidenza (95%) relativo all'ampiezza HVSR è dato dalle linee nere sottili.

A seguire la scheda della registrazione al suolo nell'area interna al Piano Particolareggiato (Fig. 5):

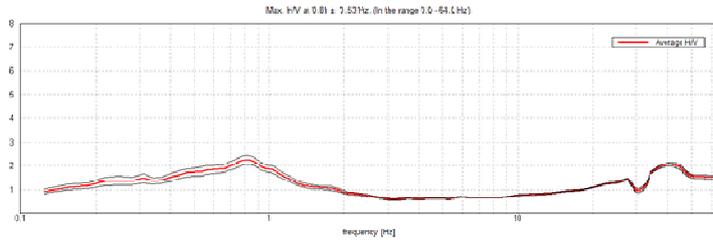
ANDRIA EX-SILAN, EX-SILAN CARPI

Instrument: TRZ-0099/01-10
 Data format: 16 bit
 Full scale [mV]: 51
 Start recording: 08/06/2022 15:59:43 End recording: 08/06/2022 16:31:43
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

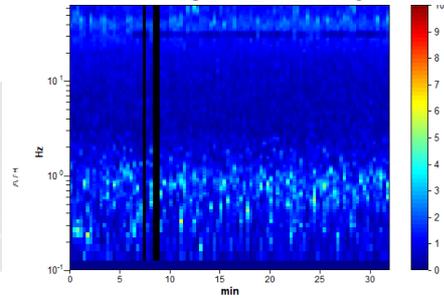
GPS data not available

Trace length: 0h32'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

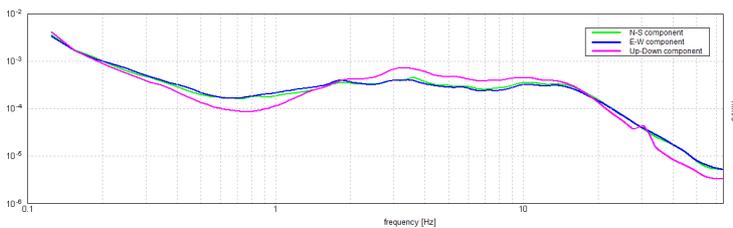
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



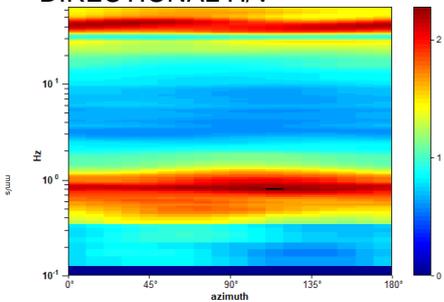
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



DIRECTIONAL H/V



Max. H/V at 0.81 ± 0.53 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

1) Criteria for a reliable H/V curve

$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1511.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	

2) Criteria for a clear H/V peak

Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	1.5 Hz	OK	NO
Exists f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	2.25 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 14.18691 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$11.52686 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1936 < 2.0$	OK	

[Secondo le linee guida SESAME, 2005:

- ✓ i primi 3 criteri della voce 1) definiscono se la registrazione è stata condotta x un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco
- ✓ i secondi 6 criteri della voce 2) dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti, tanto è che una registrazione su roccia (eseguita in modo corretto) restituirebbe No su tutti questi criteri secondari.

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\epsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0