

Oggetto dell'incarico

**STUDIO  
GEOLOGICO**

**MODELLAZIONE  
GEOLOGICA**

**MODELLAZIONE  
SISMICA**

Committente

**COMUNE DI DERUTA**

Titolo dell'incarico

REALIZZAZIONE NUOVI LOCULI

Località

Cimitero di Sant'Angelo di Celle

Mappale

FOGLIO 17

PARTICELLA 316

Spazio timbro professionista

Emissione/revisione



agosto 2020

Spazio timbri

## **PREMESSA**

L'incarico in oggetto è stato commissionato dal Comune di Deruta e riguarda lo studio geologico per la realizzazione di nuovi loculi nel cimitero di Sant'Angelo di Celle.

Il quadro normativo di riferimento comprende il D.M. 17/01/2018.

L'intervento in progetto prevede la costruzione di una modesta struttura edilizia di alcuni metri di altezza.

L'area in esame è posta alla base dei versanti occidentali della Val Tiberina, ad ovest di Deruta, all'interno della C.T.R. dell'Umbria - Elemento 323011/311132 - in scala 1:5.000 ed è distinta in planimetria catastale al foglio n°17 particella n°316.

Le coordinate geografiche del sito sono: lat.= 42.996134° long.= 12.383240° (datum ED50).

Non ci sono vincoli che riguardano gli aspetti geologici di franosità ed esondabilità riferiti alle carte PAI, IFFI, PTCP, PUT, PRG, geologia regionale; nella cartografia del PUT e PTCP il sito è comunque compreso in aree a vulnerabilità degli acquiferi da alta a molto elevata ed in quella del PRG in una "Zona con presenza di terreni alluvionali in facies grossolana (sabbie e ghiaie) talora intercalati con livelli di spessore variabile a maggior composizione fine coesiva (limi ed argille) normalconsolidati. Possibilità di livelli cedevoli anche a lungo termine per escursione stagionale della falda che si attesta genericamente tra i 2.5 e i 5.0 m da p.c.. Possibile interferenza con i piani interrati. Vulnerabilità dell'acquifero da elevata (falda <5 m) ad alta (falda compresa tra 5.0 e 10.0 m da p.c.)". Di tale cartografia se né tratterà comunque in seguito.

## **STUDIO GEOLOGICO**

Il presente studio intende caratterizzare dal punto di vista geologico l'area interessata dall'intervento descritto in premessa.

Al reperimento degli elaborati progettuali e della cartografia tematica del sito, sono seguiti i sopralluoghi e la raccolta delle notizie tematiche nella zona; successivamente sono state effettuate le opportune indagini in sito, valutate quelle di riferimento, ed è stata redatta la presente relazione sulla base delle osservazioni compiute e dei risultati ottenuti.

Il sottosuolo dell'area appartiene alle alluvioni terrazzate deposte dal F.Tevere (nella nuova cartografia della Regione Umbria sono indicate come "Depositi alluvionali in rapporto con la morfologia e la dinamica attuali"), che costituiscono il fondovalle rialzato rispetto alla piana alluvionale e per alcune decine di metri in profondità dal p.c..

Si tratta di alluvioni costituite da facies argilloso/limose e sabbioso/ghiaiose alternate in livelli e strati di variabile spessore e granulometria.

Il terreno in esame ricade in destra idrografica e ad una distanza di circa 2 km dal F.Tevere, è caratterizzato da una morfologia pianeggiante e con lievissime pendenze, senza dissesti superficiali.

Non sono presenti dati sulla franosità storica dell'area, anche in considerazione della stabilità globale della posizione pianeggiante.

La circolazione idrica del sottosuolo si sviluppa all'interno dei livelli e strati sabbioso/ghiaiosi più permeabili presenti all'interno della successione alluvionale.

Per quanto riguarda lo studio di dettaglio, il terreno in esame ricade ad una quota naturale di circa 174.5 m s.l.m. ed è pianeggiante, leggermente pendente verso sud; la quota del lotto da edificare è stata rialzata di alcuni decimetri rispetto a quella naturale.

Non sono presenti attualmente movimenti gravitativi in atto o latenti in grado di interferire con l'intervento in progetto, né lo stesso per la sua entità e la posizione pianeggiante del sito può ledere a tale stabilità globale.

Il reticolo idrografico dell'area è costituito dai fossi che scendono dalla dorsale collinare di SanMartino/Cerqueto alla piana del F.Tevere e non interessa il sito in oggetto, rialzato e lontano da collettori idrici significativi.

Come ricostruito dal rilievo idrogeologico dell'area, la circolazione idrica sotterranea più superficiale è contenuta nell'acquifero freatico sabbioso/ghiaioso/ciottoloso posto al disotto della copertura riportata/rimaneggiata e del sottostante strato fine limoso (strato A) e fino a circa 6.5/7.0 m di profondità dal p.c., al disopra delle argille/limose basali impermeabili; tale falda è comunque confinata dal tetto dello strato limoso fine che ostacola la risalita al disopra dei 3.0 m nella stagioni piovose.

Lo scavo di fondazione che oltrepasserà la copertura superficiale e di riporto prevista fino ad una profondità di -1.5 m dal p.c. non interferirà, quindi, direttamente con la falda idrica sotterranea.

Le esondazioni fluviali, di qualsiasi entità e provenienza, non interessano la posizione rialzata del sito.

La cartografia sulla propensione ai dissesti ed esondabilità (carta PAI, IFFI, PTCP, PUT, PRG, geologia regionale) non riporta alcuna zona che possa interessare il sito di studio.

Per quanto riguarda gli aspetti indicati nella cartografia del PTCP, PUT, PRG (vulnerabilità dell'acquifero), l'intervento prevede strutture fondali vicine ma non in contatto con la falda idrica sotterranea; in ogni caso terminati gli scavi e le opere fondali non si avranno più pericoli per la risorsa idrica stessa, limitati ed effettuati con metodi rigorosi in breve lasso di tempo.

#### Terre e rocce da scavo

È previsto il riutilizzo integrale delle terre e rocce da scavo nel medesimo sito; in particolare si tratta di suolo non contaminato e di altro materiale allo stato naturale escavato nel corso dell'attività di costruzione, ed è certo che il materiale sarà utilizzato a fini di costruzione allo stato naturale nello stesso sito in cui è stato escavato.

## **MODELLAZIONE GEOLOGICA**

Per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo è stata effettuata una prova penetrometrica dinamica DPM in sito; si fa riferimento, inoltre, ad alcune indagini sismiche effettuate nelle vicinanze del sito ed in terreni geologicamente analoghi, consistite in prospezioni MASW, oltre che alle notizie sulle perforazioni idriche della zona.

L'ubicazione, la tipologia e la descrizione delle indagini in sito e di riferimento sono riportate nelle tavole in appendice, insieme ai risultati dell'elaborazione dei rispettivi programmi specifici.

Per quanto riguarda l'indagine penetrometrica la strumentazione utilizzata è costituita da un penetrometro dinamico prodotto dalla Ditta Compac. Per la prospezione sismica MASW l'unità di acquisizione è della Sara Electronic Instruments 24 canali – 24 bit, i sensori sono GS11D 4.5 Hz, l'energizzazione è data da una mazza da 5 kg su piastra metallica.

Da tali indagini è stato possibile, oltre che definire la modellazione sismica, ricostruire il seguente profilo stratigrafico-geotecnico del sottosuolo (modello geologico-geotecnico), a partire dalla quota attuale del p.c. sopraelevato di alcuni decimetri da quello naturale ed escludendo la copertura rimaneggiata e di riporto superficiale non adatta come terreno fondale:

**da 1.5 a 3.0 m limo argilloso/sabbioso medio consistente - strato A**

Parametro	simb.	Unità	valore rilev.	M1 v. carat.	M2 v. prog.
peso di volume naturale	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19.5	19.5	19.5
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	20	20	20
coesione non drenata - <i>tensioni totali</i>	$c_u$	kN/m <sup>2</sup>	80/100	80	57
coesione efficace - <i>tensioni effettive</i>	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
angolo attrito non drenato - <i>tensioni totali</i>	$\phi_u$	gradi ses. (°)	0	0	0
angolo attrito interno efficace - <i>ten. effettive</i>	$\phi'$	gradi ses. (°)	30/32*	30*	24.7*
coefficiente sottofondo (cost. di Winkler)	$K_0$	kg/cm <sup>3</sup>	2/4	2	2
grado di sovraconsolidazione	OCR	-	>1	>1	>1
modulo di Poisson	$\nu$	-	0.4	0.4	0.4
modulo elastico	E	kg/cm <sup>2</sup>	100/150	100	100

\* valore riportato per la componente attritiva e per comportamento incoerente assunto dallo strato

**da 3.0 a 6.5/7.0 m sabbia e ghiaia ciottolosa medio densa - strato B**

*(comportamento prevalentemente incoerente)*

Parametro	simb.	Unità	valore rilev.	M1 v. carat.	M2 v. prog.
peso di volume naturale	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19	19	19
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	20	20	20
coesione non drenata - <i>tensioni totali</i>	$c_u$	kN/m <sup>2</sup>	0	0	0
coesione efficace - <i>tensioni effettive</i>	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
angolo attrito non drenato - <i>tensioni totali</i>	$\phi_u$	gradi ses. (°)	>35	35	29
angolo attrito interno efficace - <i>ten. effettive</i>	$\phi'$	gradi ses. (°)	>35	35	29
coefficiente sottofondo (cost. di Winkler)	$K_0$	kg/cm <sup>3</sup>	4/6	4	4
grado di sovraconsolidazione	OCR	-	>1	>1	>1
modulo di Poisson	$\nu$	-	0.35	0.35	0.35
modulo elastico	E	kg/cm <sup>2</sup>	200	200	200

**oltre 6.5/7.0 m limo argilloso/sabbioso compatto con livelli sabbioso/ghiaiosi – strato C**

*(comport. prevalentemente coesivo) non interessato dai carichi strutturali*

Verifiche di stabilità

Il terreno ricade in posizione pianeggiante, del tutto stabile, e non necessita, in relazione anche alla tipologia di intervento in progetto, di verifiche di stabilità specifiche sia del complesso opera/versante sia del fronte di scavo, limitato all'imposta delle fondazioni superficiali.

Scarichi delle acque reflue

Non sono previste acque reflue.



## MODELLAZIONE SISMICA

La presente modellazione ha lo scopo di definire, in relazione alla tipologia d'intervento, l'azione sismica di progetto sulla base delle valutazioni geologiche-geomorfologiche del sito, derivanti anche dallo studio e modellazione geologica precedentemente illustrati e dai risultati della prospezione sismica di riferimento.

Il terreno in oggetto ricade in zona sismica di 2a categoria (grado di sismicità pari a 9), come individuato nella D.G.R. del 18 settembre 2012 n. 1111 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria" seguita alla D.G.R. del 18 giugno 2003 n. 852 "Approvazione classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria" ed alle disposizioni dell'Ordinanza del P.C.M. n°3274 del 20/03/2003.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è stata stabilita la vita nominale della struttura, la classe d'uso ed il periodo di riferimento; sulla base di ciò è stato stabilito il periodo di ritorno associato a ciascuno stato limite per la struttura in oggetto ed è stata definita la pericolosità sismica di base (caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse) per una prefissata  $P_{VR}$  (probabilità di superamento associata ad ogni stato limite), in merito allo studio dell'Istituto Nazionale e di Geofisica e Vulcanologia (INGV); alla pericolosità sismica di base è stata associata l'amplificazione sismica locale, dovuta alla litostratigrafia e topografia.

L'azione sismica di riferimento è stata rappresentata in termini di spettri di risposta elastici in spostamento, da cui, per mezzo del coefficiente di struttura di default, sono stati derivati i corrispondenti spettri di progetto.

In alternativa a quanto effettuato, l'azione sismica di progetto poteva essere definita per mezzo di accelerogrammi reali, artificiali o generati da simulazioni numeriche, dove nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica è descritta in termini di storia temporale di accelerazione su un sito di riferimento roccioso affiorante, con superficie topografica orizzontale.

Il ricorso a metodi semplificati è giustificato dalle NTC18 perché, come nel caso specifico, non si tratta di sito caratterizzato da terreni a bassa consistenza o suscettibili alla liquefazione e da morfologia complessa superficiale o sepolta, neppure dalla presenza di eterogeneità laterali o di variabilità plano-altimetriche pronunciate del tetto del substrato; per l'applicabilità dei metodi devono infatti essere escluse tutte quelle situazioni dove sono possibili effetti bi- o tri-dimensionali, effetti di bacino e di focalizzazione dell'energia sismica per cui bisogna ricorrere a specifiche analisi di risposta sismica locale.

Il base alla tipologia dell'intervento in progetto, possono essere definiti:

- vita nominale  $V_N \geq 50$  anni;
- classe d'uso II ( $C_U = 1$ );
- periodo di riferimento  $V_R \geq 50$  ( $V_N \times C_U$ ).

Di supporto alla modellazione è stata considerata una prospezione geofisica MASW effettuata nelle vicinanze del sito ed in terreni geologicamente analoghi, con stendimento, caratteristiche strumentali e modalità d'esecuzione riportati negli allegati in appendice, e con la quale è stato possibile definire la **categoria B** di sottosuolo, ossia "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s" (per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ ).

Per quanto riguarda la categoria topografica si può assegnare al sito in esame la **categoria T1** ossia "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", visto la semplice morfologia superficiale/sepolta e le pendenze del sito.

Nell'ambito della zona in esame non sono inoltre superficialmente rilevabili evidenti lineazioni morfologiche di faglie sismogenetiche in grado di testimoniare fenomeni tettonici attivi.

Per quanto riguarda l'amplificazione si indicano:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  compreso tra  $1 \leq 1.4-0.4F_{0a_g}/g \leq 1.2$ ;
- coefficiente  $C_c$  pari a  $1.1 (T_c)^{-0.2}$ ;
- coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$ .

L'esclusione della verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate nel punto 7.11.3.4 del DM 17.01.2018:

1. accelerazioni massime attese al p. campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna ...;
3. depositi costituiti da sabbie pulite ...;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 ... .

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La valutazione in oggetto è stata effettuata con il metodo semplificato di Andrus e Stokoe (1997) modificato che si basa sulle velocità delle onde sismiche  $V_s$  del sottosuolo.

Per la verifica alla liquefazione si sono considerate la profondità della falda idrica sotterranea ed i parametri sismici caratteristici della zona, escludendo in definitiva la liquefazione del terreno in fase sismica.

## CONCLUSIONI

Da un punto di vista geologico e sismico, si può concludere che non esistono controindicazioni alla realizzazione dell'intervento previsto ed, in particolare:

- i terreni del sottosuolo sono di natura alluvionale ed hanno idonee caratteristiche geotecniche, oltre una certa profondità, non sono suscettibili di liquefazione in fase di sisma e non hanno una disposizione eteropica significativa;
- il sito non è interessato attualmente da movimenti gravitativi in atto o latenti e da azioni morfogenetiche delle acque superficiali, né tale stabilità può essere alterata dall'intervento previsto;
- la falda idrica sotterranea non interferisce direttamente (tetto limoso impermeabile fino a -3 m di profondità dal p.c. circa);
- non esistono altre problematiche ambientali che possano essere di rilevante pericolosità.

Visto il modello geologico e le caratteristiche geotecniche dei terreni e considerando la tipologia di intervento in progetto, si può ritenere idoneo l'adozione di una platea di fondazione da attestare al disotto della copertura rimaneggiata e di riporto superficiale, nei livelli più compatti dello strato A ad oltre 1.5 m di profondità dal p.c..

Al disotto dello strato A si trovano sabbie e ghiaie ciottolose medio dense (strato B a circa -3 m dal p.c.) che ovviamente offrono maggiori garanzie di portanza ed indeformabilità.

La scelta della tipologia, dimensione ed incasso delle fondazioni, insieme alla verifica degli stati limite, sarà comunque valutata e definita dal progettista strutturale, sulla base di quanto riportato.

Per qualunque soluzione progettuale, il terreno di riferimento dovrà essere verificato direttamente in fase di scavo, ovunque al disotto del perimetro edificatorio.

Eventuali discordanze tra quanto esposto in tale sede e quanto direttamente rilevato in fase di realizzazione degli interventi, dovranno essere tempestivamente comunicate allo scrivente al fine di valutare correttamente la reale incidenza delle stesse su quanto in progetto.

**TAVOLE:**

- corografia topografica, planimetria catastale, cartografia vincoli, cartografia geologica tematica, planimetria progettuale, sezione geologica, documentazione fotografica.

**ALLEGATI:**

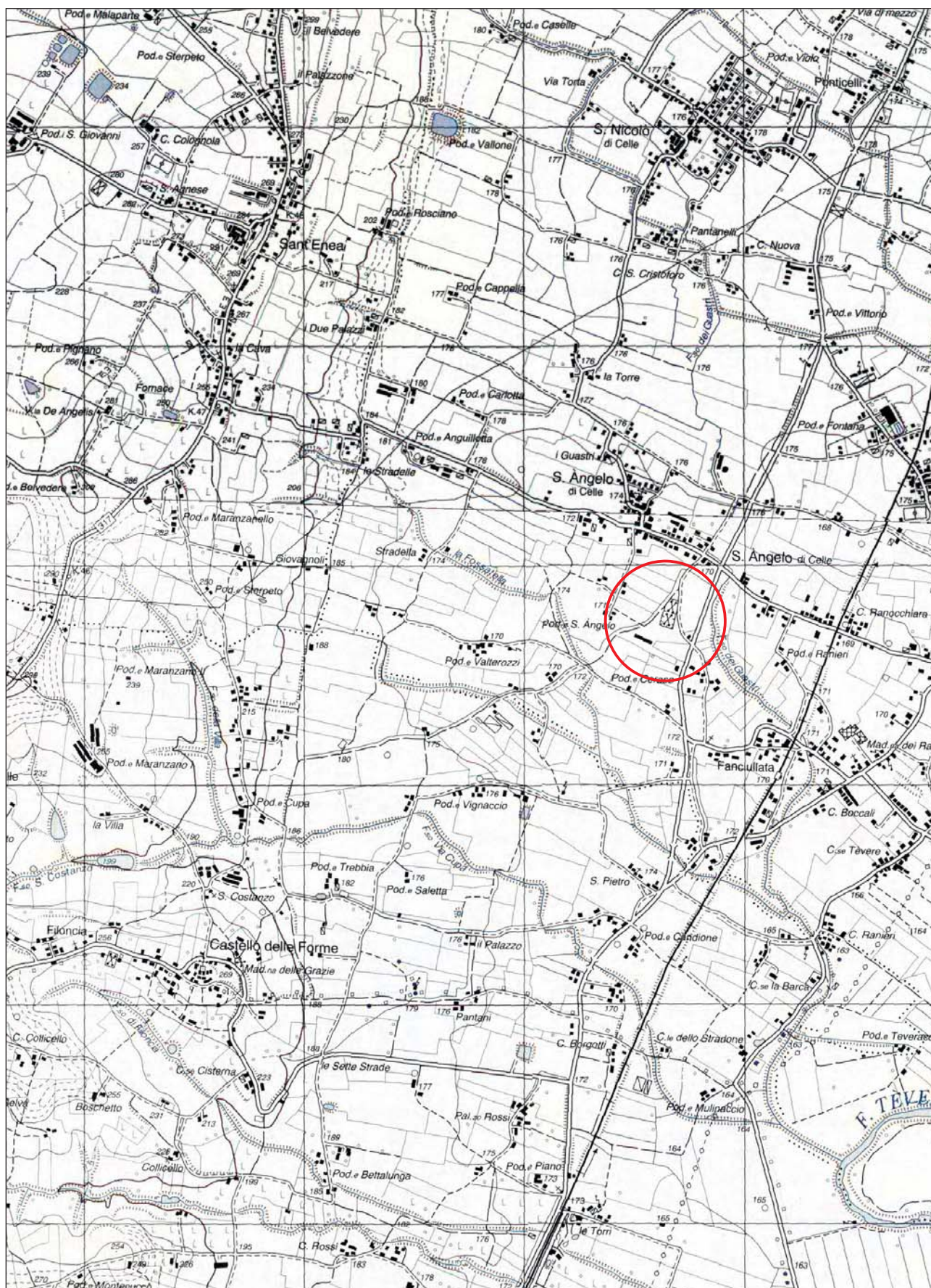
- indagini geognostiche e geofisiche in sito e di riferimento;  
- verifica alla liquefazione.

Marsciano, agosto 2020





# Corografia I.G.M. - scala 1:25.000



Area in oggetto



Elemento n°323011 (Sant'Angelo di Celle) - n°311132 (San Nicolò di Celle)

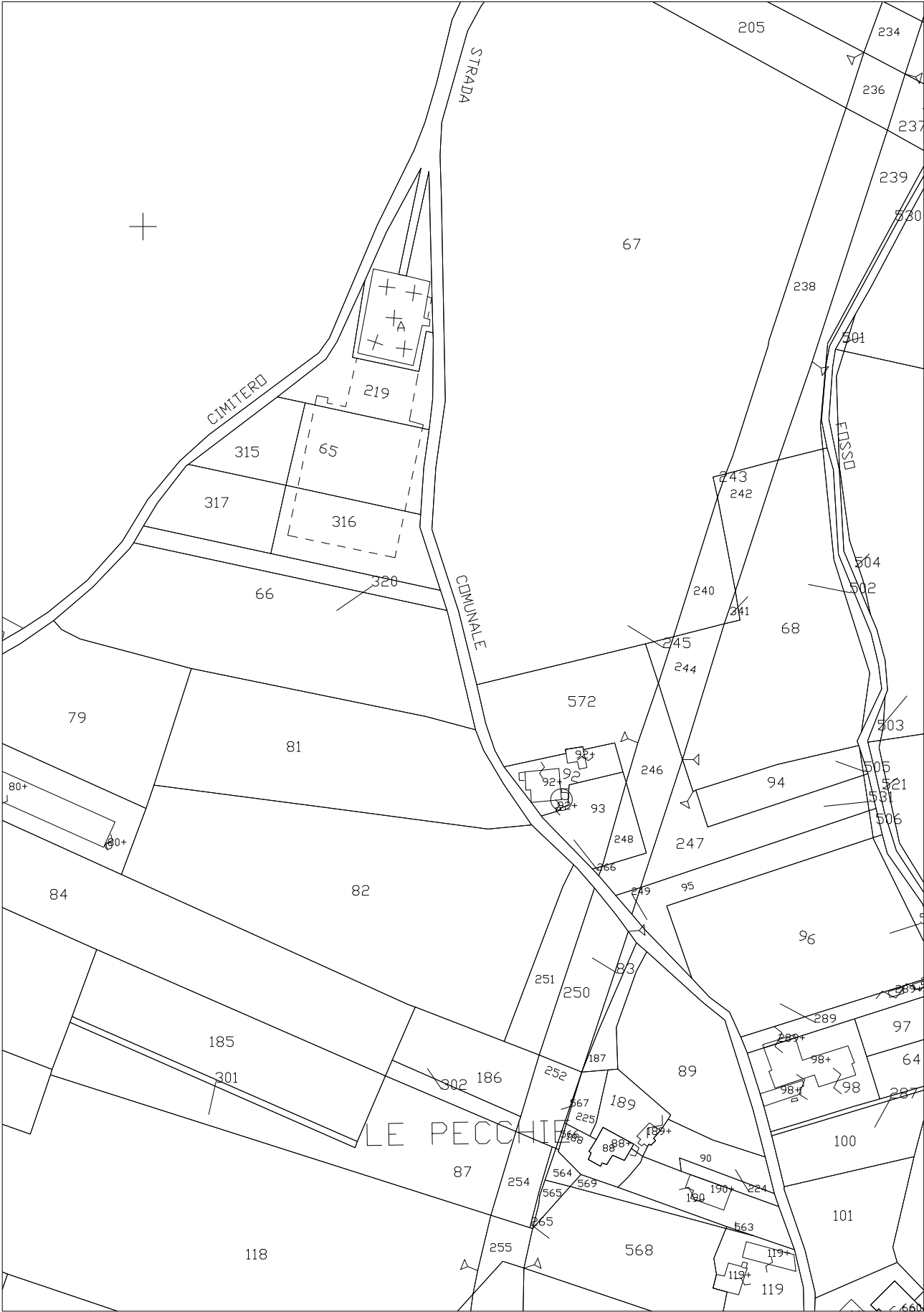


/

### Prospezione di riferimento

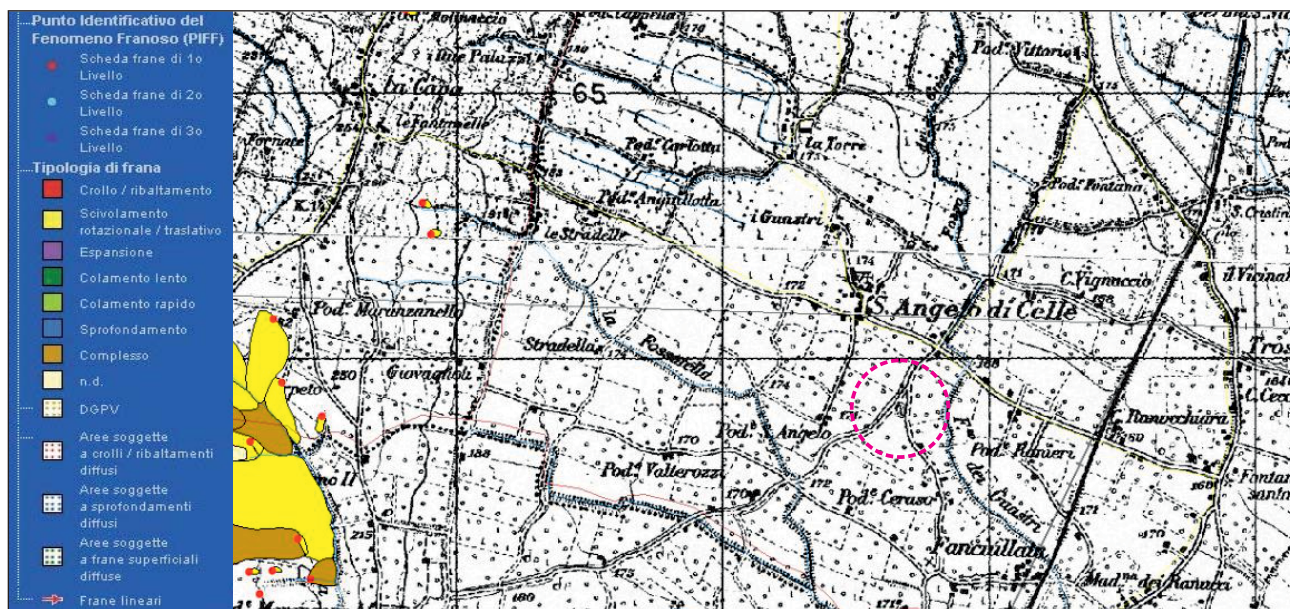
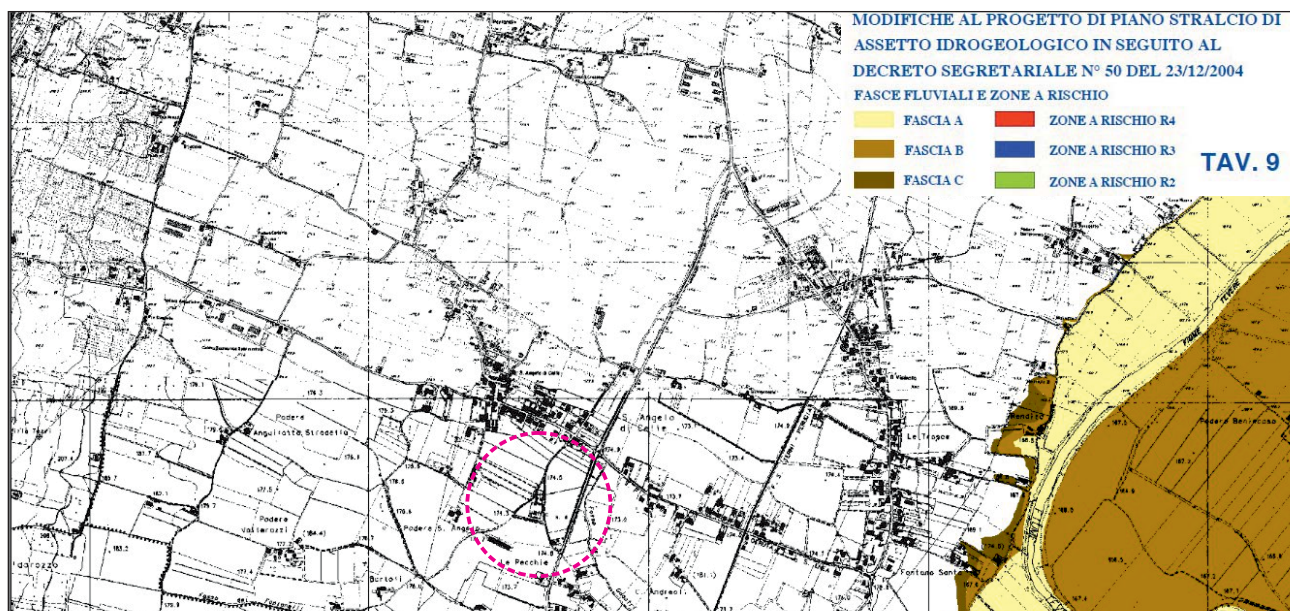
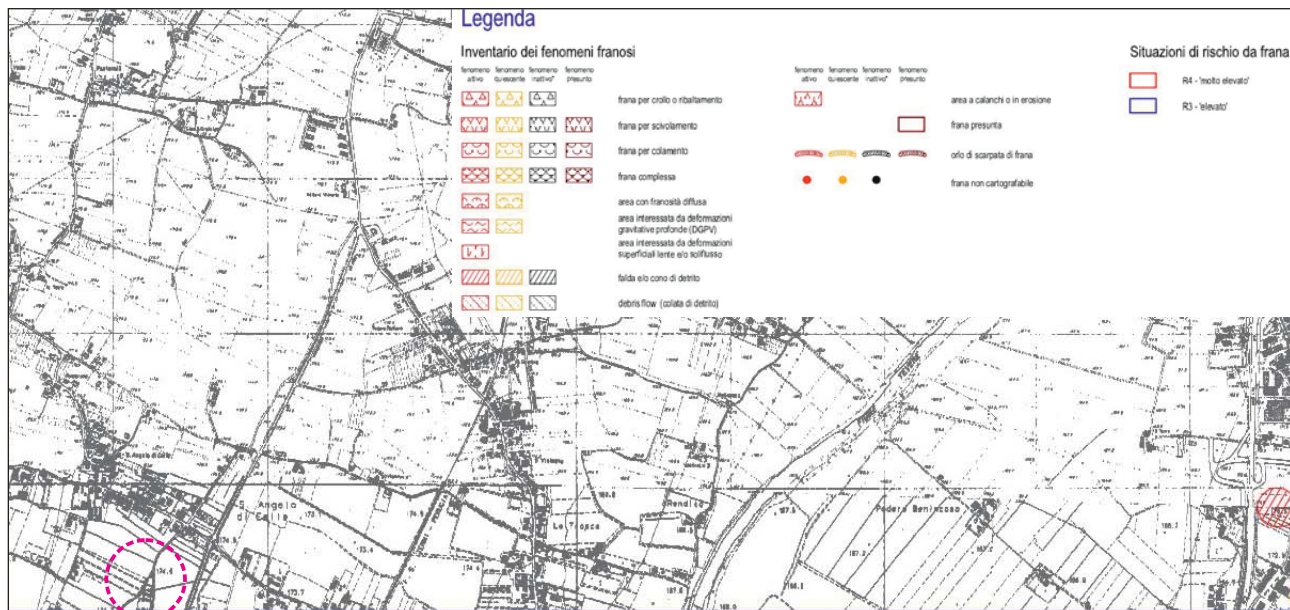
# Planimetria catastale - scala 1:2.000

Foglio n°17 - particella n°316 (comune di Deruta)



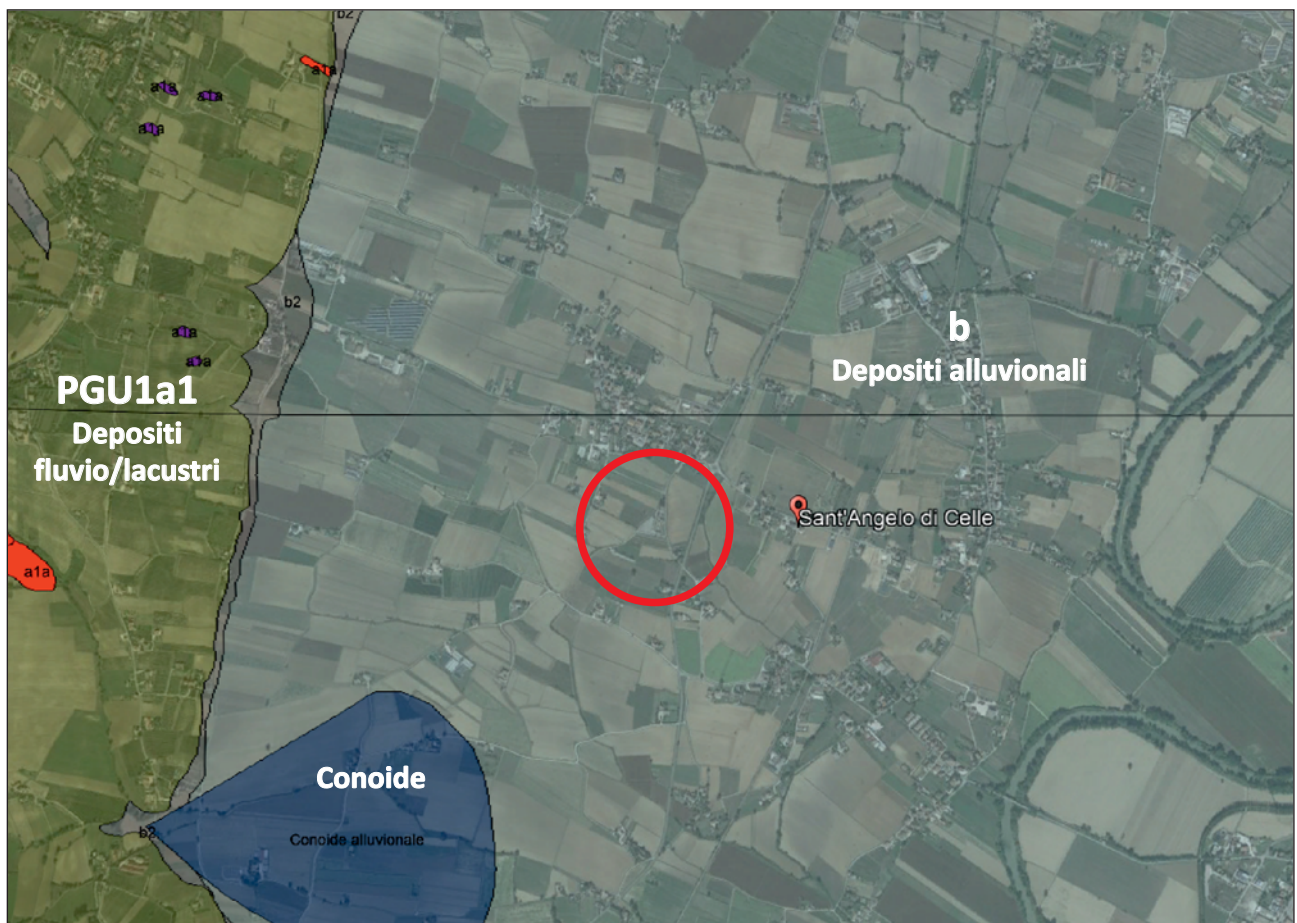


Cartografia PAI frane / PAI idraulica / IFFI - non in scala



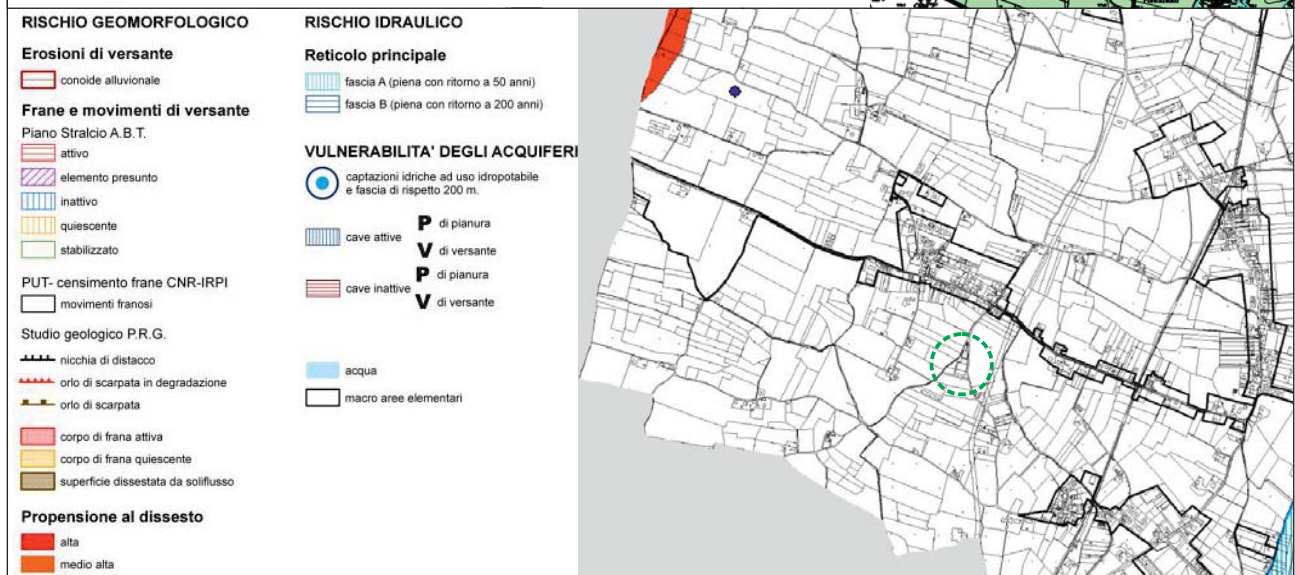
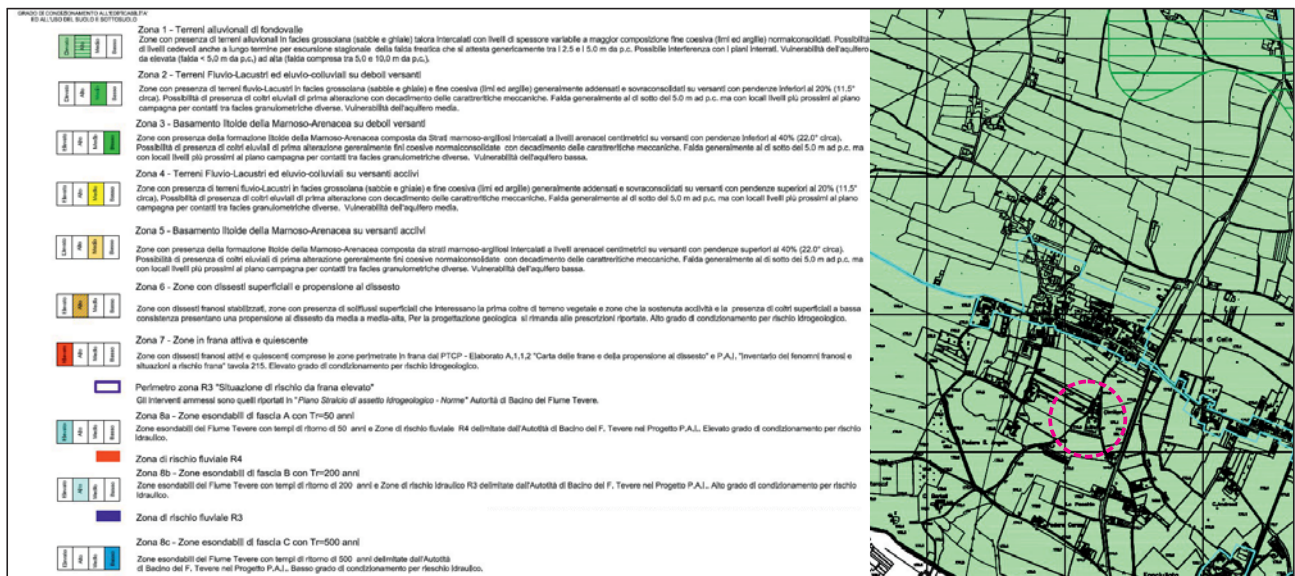
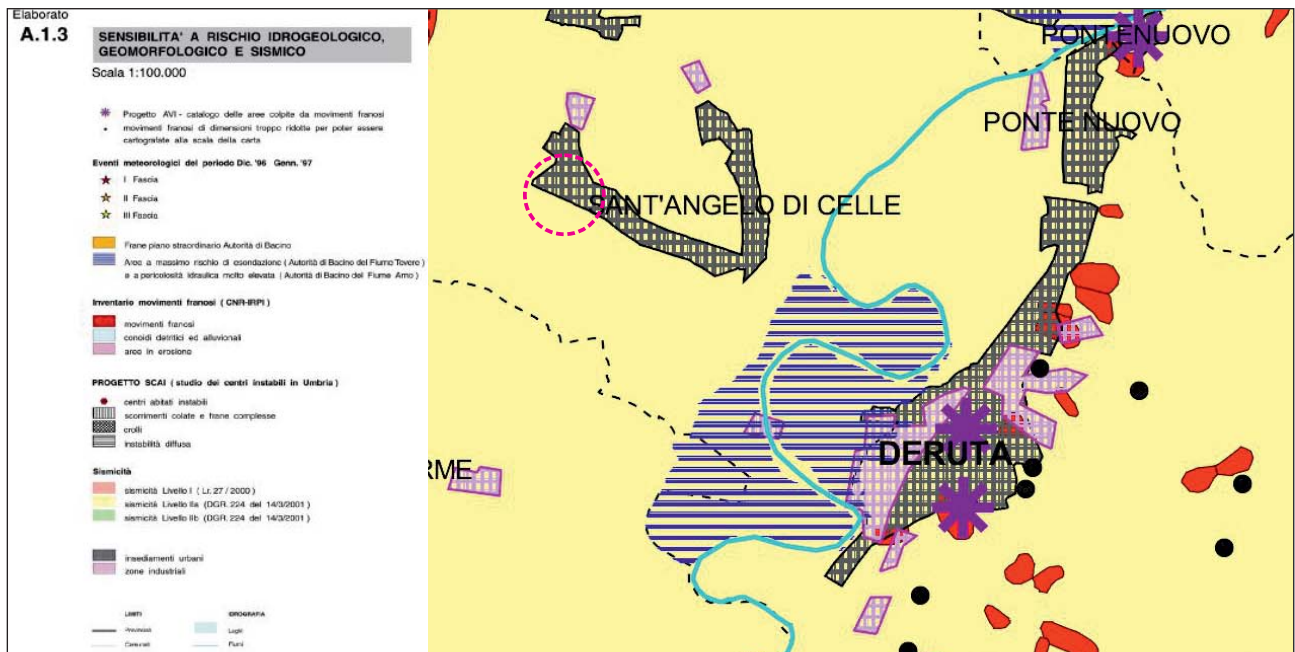


Carta geologica (vecchia e nuova cartografia) - non in scala

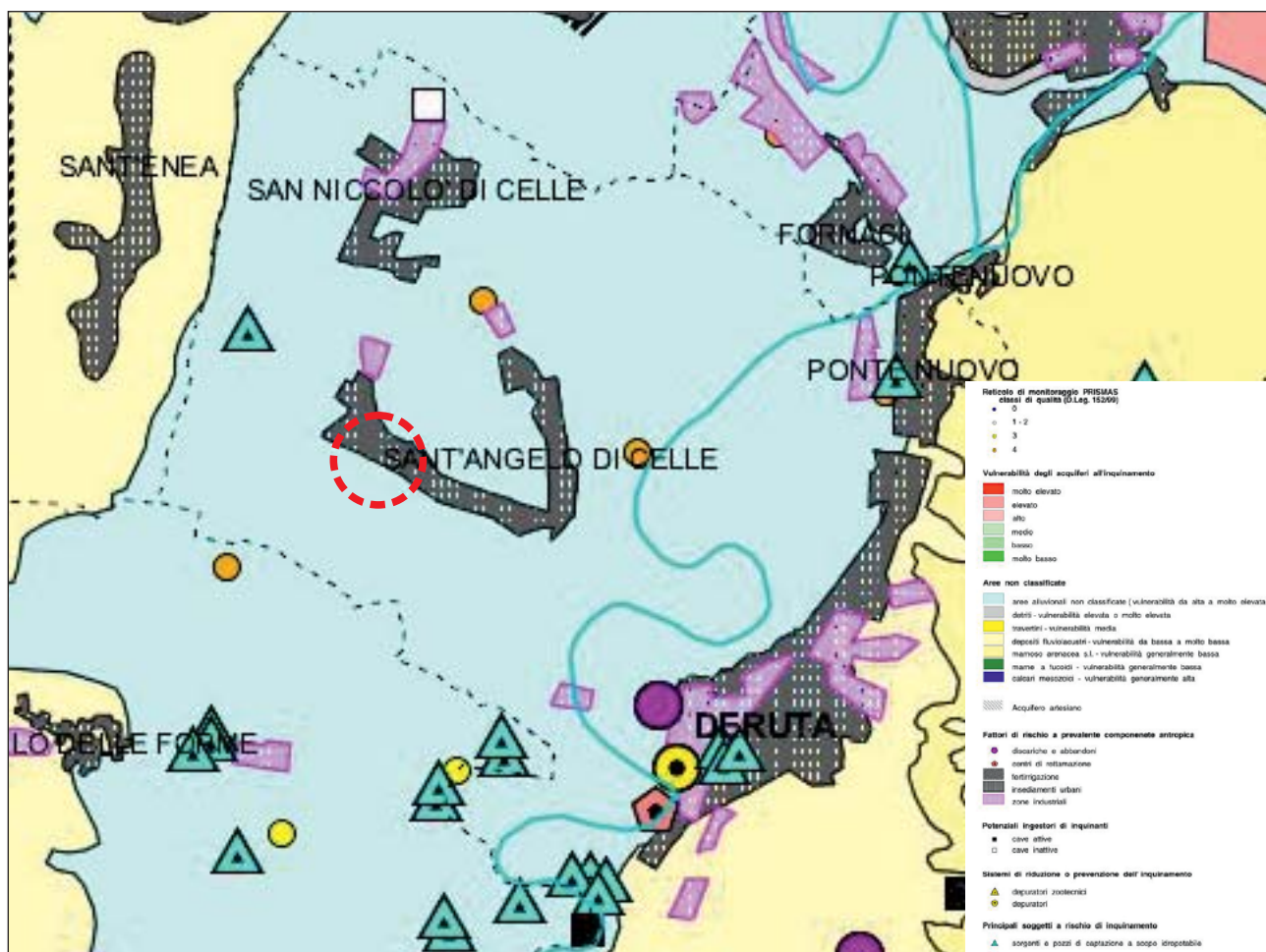
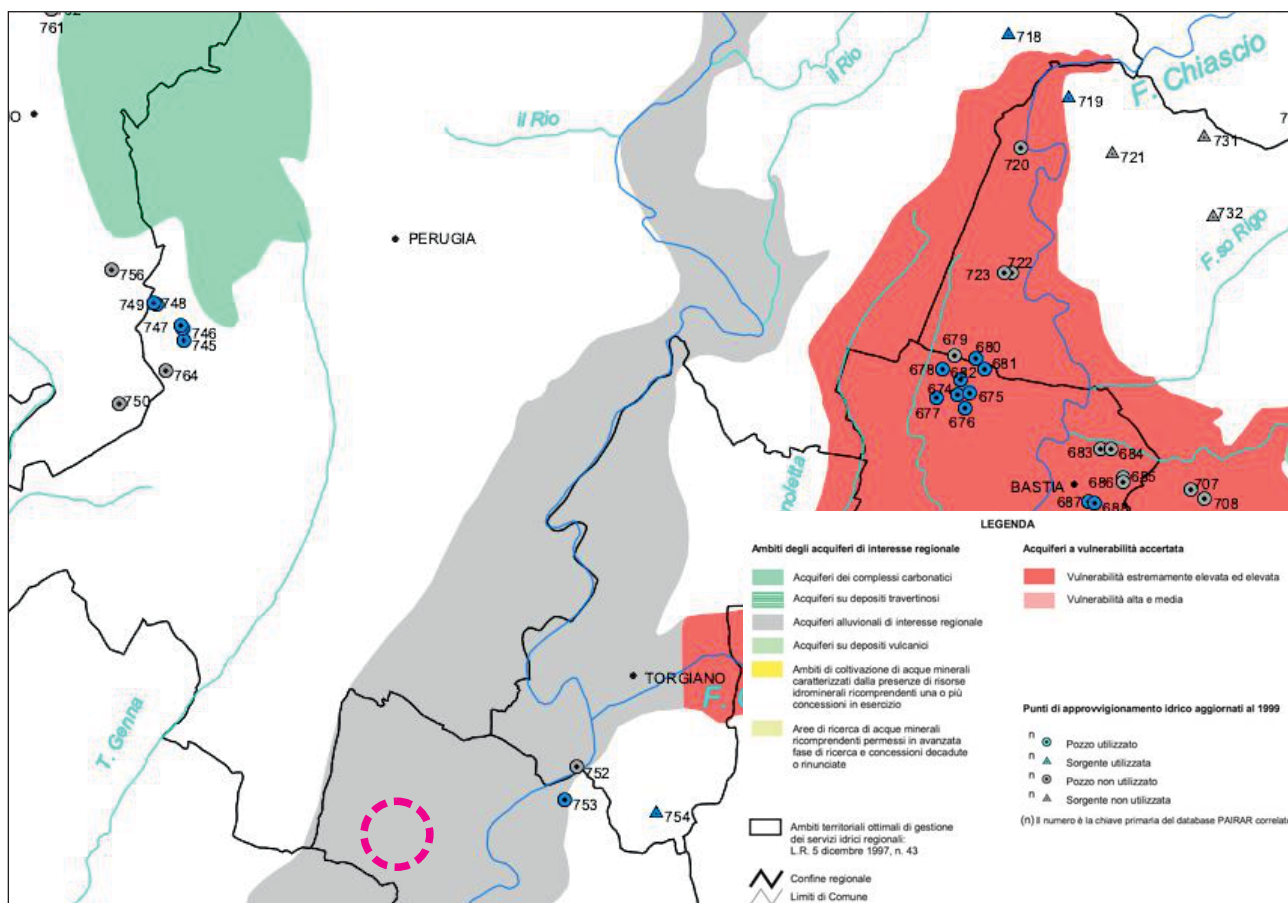




# Cartografia PTCP / PRG - non in scala



## Cartografia PUT / PTCP (vulnerabilità acquiferi) - non in scala





## Cartografia PRG Studio idraulico - non in scala



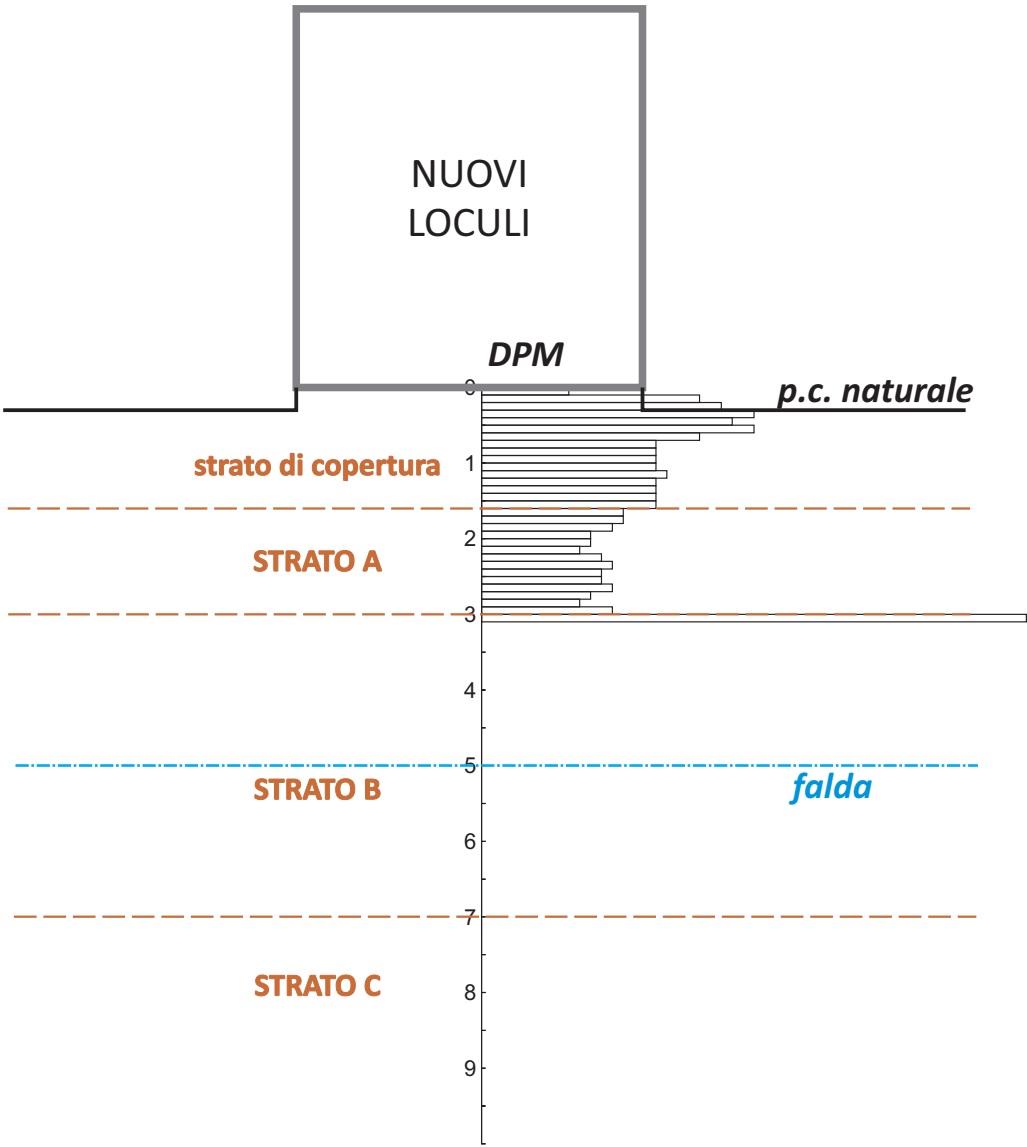
Planimetria generale - scala 1:500



 Prova penetrometrica dinamica



Sezione litotecnica schematica - scala 1:100



## Documentazione fotografica indagini

prova penetrometrica DPM



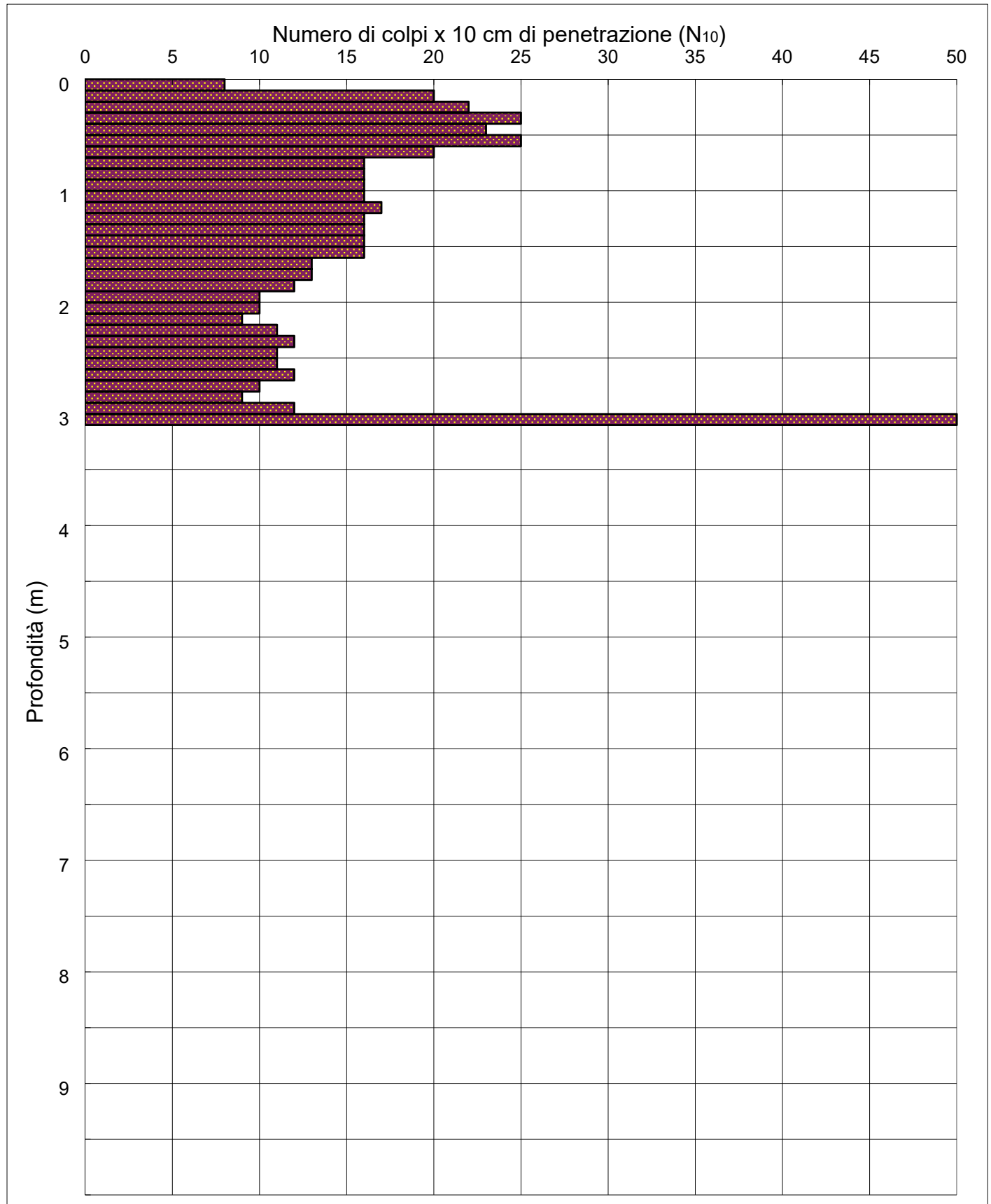
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM

N° 1

Foglio "A"

Penetrometro Dinamico Medio	Committ.: <b>Comune di Deruta</b>	Data: 10/08/20
Maglio: peso M=30,0 kg, altezza di caduta H=0,20 m	Località: Cimitero di Sant'Angelo di Celle	Oper.:
Punta conica: area A=10 cm <sup>2</sup> ( $\phi=35,7$ mm) vertice 60°	Quota piano camp.: m s.l.m.	Prof. falda da Q.i.:
Aste: lunghezza 1,00 m ( $\phi=22$ mm) e peso P=2,9 kg	Quota inizio prova: m s.l.m.	Prof. di stab. falda:

## DIAGRAMMA DI RESISTENZA



Penetrometro Dinamico Medio	Committ.: <b>Comune di Deruta</b>	Data: 10/08/20
Maglio: peso M=30,0 kg, altezza di caduta H=0,20 m	Località: Cimitero di Sant'Angelo di Celle	Oper.:
Punta conica: area A=10 cm <sup>2</sup> (φ=35,7 mm) vertice 60°	Quota piano camp.: m s.l.m.	Prof. falda da Q.i.:
Aste: lunghezza 1,00 m (φ=22 mm) e peso P=2,9 kg	Quota inizio prova: m s.l.m.	Prof. stab. falda:

## LETTURE VALORI DI RESISTENZA TENSIONI TERRENO

## PARAMETRI GEOTECNICI

Prof. N10	rd	qd	k	Nspt	γ	γw	σ'	OCR	Terreni incoerenti							Terreni coerenti					
									U	Dr	Gd	E'	Ic	φ' <sup>1</sup>	φ' <sup>2</sup>	φ' <sup>3</sup>	c <sub>u</sub>	c <sub>u</sub> /σ'	Eu		
m	MPa	MPa	-		kN/m³	kN/m³	kPa	-	-	%	Pa	MPa	-	°	°	°	kPa	-	MPa		
0,1	8	4,7	3,1	0,76	6,1	19,5		2,0	1,0		4	41	48	6,7	0,136	34	36	41	73	37,4	18,7
0,2	20	11,8	7,9	0,76	15,2	19,5		3,9	1,0		4	56	90	9,7	0,038	36	38	42	182	46,8	23,4
0,3	22	12,9	8,7	0,76	16,7	19,5		5,9	1,0		4	58	96	10,2	0,033	36	38	43	201	34,3	17,1
0,4	25	14,7	9,8	0,76	19,0	19,5		7,8	1,0		4	61	105	10,9	0,028	37	39	43	228	29,2	14,6
0,5	23	13,5	9,0	0,76	17,5	19,5		9,8	1,0		4	59	99	10,4	0,031	36	38	43	210	21,5	10,8
0,6	25	14,7	9,8	0,76	19,0	19,5		11,7	1,0		4	61	105	10,9	0,028	37	39	43	228	19,5	9,7
0,7	20	11,8	7,9	0,76	15,2	19,5		13,7	1,0		4	56	90	9,7	0,038	36	38	42	182	13,4	6,7
0,8	16	9,4	6,3	0,76	12,2	19,5		15,6	1,0		4	51	77	8,7	0,052	35	37	42	146	9,4	4,7
0,9	16	9,4	6,3	0,76	12,2	19,5		17,6	1,0		4	51	77	8,7	0,052	35	37	42	146	8,3	4,2
1,0	16	9,4	6,3	0,76	12,2	19,5		19,5	1,0		4	51	77	8,7	0,052	35	37	42	146	7,5	3,7
1,1	16	9,4	5,9	0,76	12,2	19,5		21,5	1,0		4	51	77	8,7	0,052	35	37	42	146	6,8	3,4
1,2	17	10,0	6,3	0,76	12,9	19,5		23,4	1,0		4	52	80	8,9	0,047	35	37	42	155	6,6	3,3
1,3	16	9,4	5,9	0,76	12,2	19,5		25,4	1,0		4	50	77	8,7	0,052	35	37	42	146	5,8	2,9
1,4	16	9,4	5,9	0,76	12,2	19,5		27,3	1,0		4	50	77	8,7	0,052	35	37	42	146	5,3	2,7
1,5	16	9,4	5,9	0,76	12,2	19,5		29,3	1,0		4	50	77	8,7	0,052	35	37	42	146	5,0	2,5
1,6	16	9,4	5,9	0,76	12,2	19,5		31,2	2,0		4	44	77	12,3	0,052	34	37	42	146	4,7	3,3
1,7	13	7,7	4,8	0,76	9,9	19,5		33,2	3,0		4	31	67	13,8	0,069	32	35	40	119	3,6	3,1
1,8	13	7,7	4,8	0,76	9,9	19,5		35,1	3,0		4	31	67	13,8	0,069	32	35	40	119	3,4	2,9
1,9	12	7,1	4,4	0,76	9,1	19,5		37,1	3,0		4	27	64	13,4	0,077	32	35	40	109	3,0	2,6
2,0	10	5,9	3,7	0,76	7,6	19,5		39,0	3,0		4	18	56	12,5	0,100	31	34	39	91	2,3	2,0
2,1	10	5,9	3,5	0,76	7,6	19,5		41,0	3,0		4	17	56	12,5	0,100	30	33	39	91	2,2	1,9
2,2	9	5,3	3,1	0,76	6,8	19,5		42,9	2,0		4	30	52	9,9	0,116	32	35	40	82	1,9	1,4
2,3	11	6,5	3,8	0,76	8,4	19,5		44,9	3,0		4	22	60	12,9	0,087	31	34	40	100	2,2	1,9
2,4	12	7,1	4,2	0,76	9,1	19,5		46,8	3,0		4	26	64	13,4	0,077	32	34	40	109	2,3	2,0
2,5	11	6,5	3,8	0,76	8,4	19,5		48,8	3,0		4	22	60	12,9	0,087	31	34	40	100	2,1	1,8
2,6	11	6,5	3,8	0,76	8,4	19,5		50,7	3,0		4	21	60	12,9	0,087	31	34	40	100	2,0	1,7
2,7	12	7,1	4,2	0,76	9,1	19,5		52,7	3,0		4	25	64	13,4	0,077	32	34	40	109	2,1	1,8
2,8	10	5,9	3,5	0,76	7,6	19,5		54,6	2,0		4	31	56	10,2	0,100	32	35	41	91	1,7	1,2
2,9	9	5,3	3,1	0,76	6,8	19,5		56,6	2,0		4	28	52	9,9	0,116	32	35	40	82	1,5	1,0
3,0	12	7,1	4,2	0,76	9,1	19,5		58,5	3,0		4	24	64	13,4	0,077	31	34	40	109	1,9	1,6
3,1	50	29,4	16,5	0,76	38,0	19,0		60,4	4,0		4	70	168	33,9	0,010	38	40	44	456	7,5	7,5

Le prove sono state eseguite secondo le procedure di riferimento standard internazionali (ISSMFE, 1988).

**I risultati** comprendono, per ogni prova dinamica DPM:

fig. A) il grafico dell'andamento del numero di colpi per ogni 10 cm di infissione (N<sub>10</sub>) contro la profondità in metri;

fig. B) la tabella delle letture dei valori di N<sub>10</sub>, dei corrispondenti valori di resistenza penetrometrica dinamica r<sub>d</sub> e q<sub>d</sub> e della conversione in valori di resistenza penetrometrica standard N<sub>spt</sub> tramite il fattore K;  
sono inoltre riportati in tabella i corrispondenti parametri geotecnici del terreno ricavati, in base alle assunzioni fatte sullo stato delle tensioni nel sottosuolo, con le più diffuse relazioni sperimentali, ed in particolare:

per terreni incoerenti:

- Densità relativa

$$D_r = 12.2 + 0.75(222N_{spt} + 1600 - 711OCR - 7.54\sigma'_{vo} - 50U^2)^{0.5}$$

(Marcuson e Bieganouski, 1977);

- Modulo di Taglio dinamico

$$G_d = (144N_{spt}^{0.68})/9.8$$

(Imai e Tonouchi, 1982);

- Modulo di Deformazione drenato

$$E' = C_1(N_{spt} + C_2) \text{ con } C_1=300/1200 \text{ e } C_2=6 \text{ o } 15$$

(Mitchell e Gardner, 1975);

- Indice di compressibilità

$$I_c = 1.706/N_{spt}$$

(Burland e Burbridge, 1984);

- Angolo d'attrito interno effettivo (limi)

$$\phi'^1 = 28 + 0.14D_r$$

- Angolo d'attrito interno effettivo (sabbie)

$$\phi'^2 = 31.5 + 0.115D_r$$

(Schmertmann, 1977);

- Angolo d'attrito interno effettivo (ghiaie)  $\phi'^3 = 38 + 0.08D_r$

e per terreni coerenti:

- Coesione non drenata

$$c_u = 12N_{spt}$$

(Bowles, 1988);

- Modulo di Deformazione non drenato

$$E_u = 500c_u OCR^{0.5}$$

(Ladde et Al., 1977).



## Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

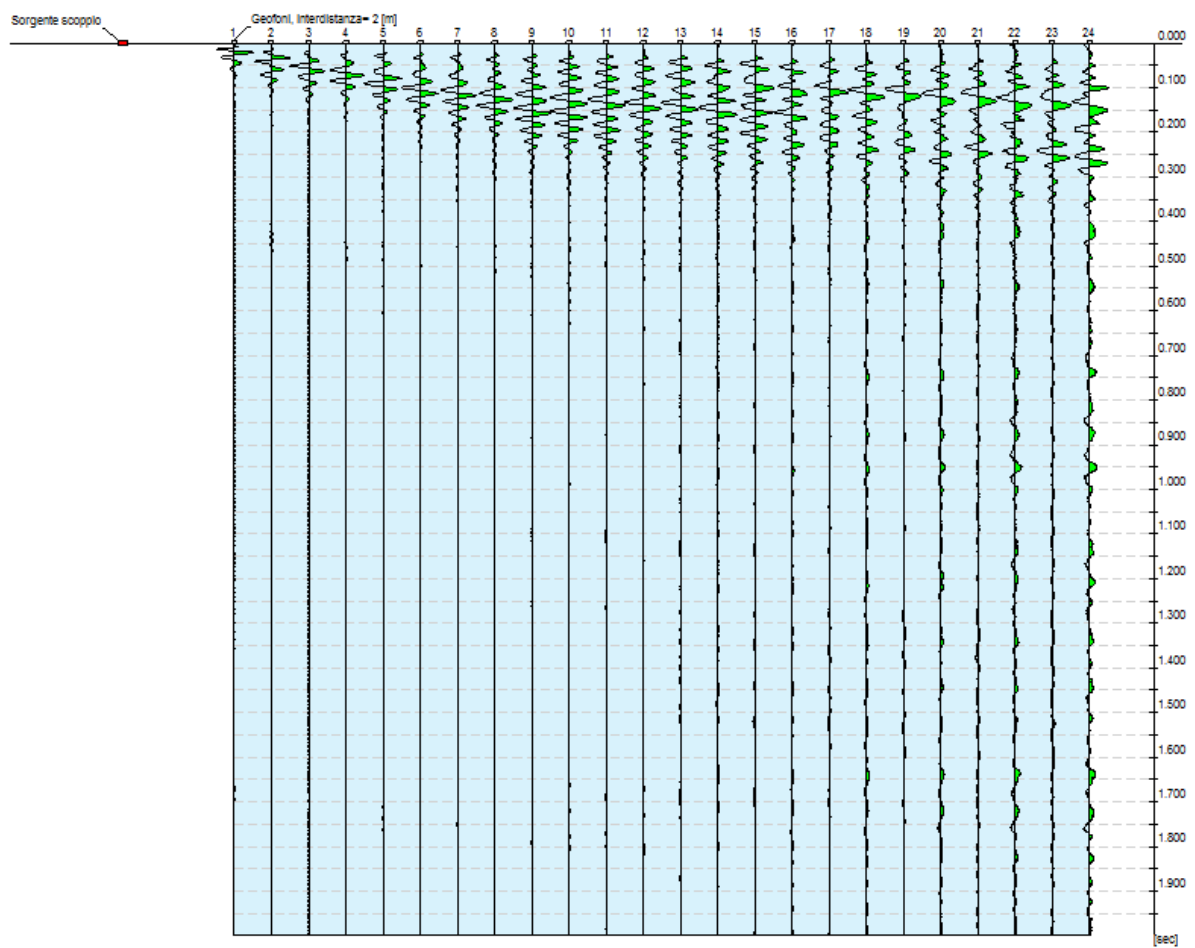
### **Dati generali**

<b>Committente</b>	EDILIZIA FERRACCI s.r.l.
<b>Cantiere</b>	REALIZZAZIONE DI N°2 EDIFICI PER CIVILE ABITAZIONE
<b>Località</b>	FRAZ. SANT'ANGELO DI CELLE - DERUTA
<b>Operatore</b>	Dott. Geol. Servettini Luca
<b>Responsabile</b>	Dott. Geol. Servettini Luca
<b>Data</b>	01/10/2016

## Tracce

<b>N. tracce</b>	24
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2000.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	2.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

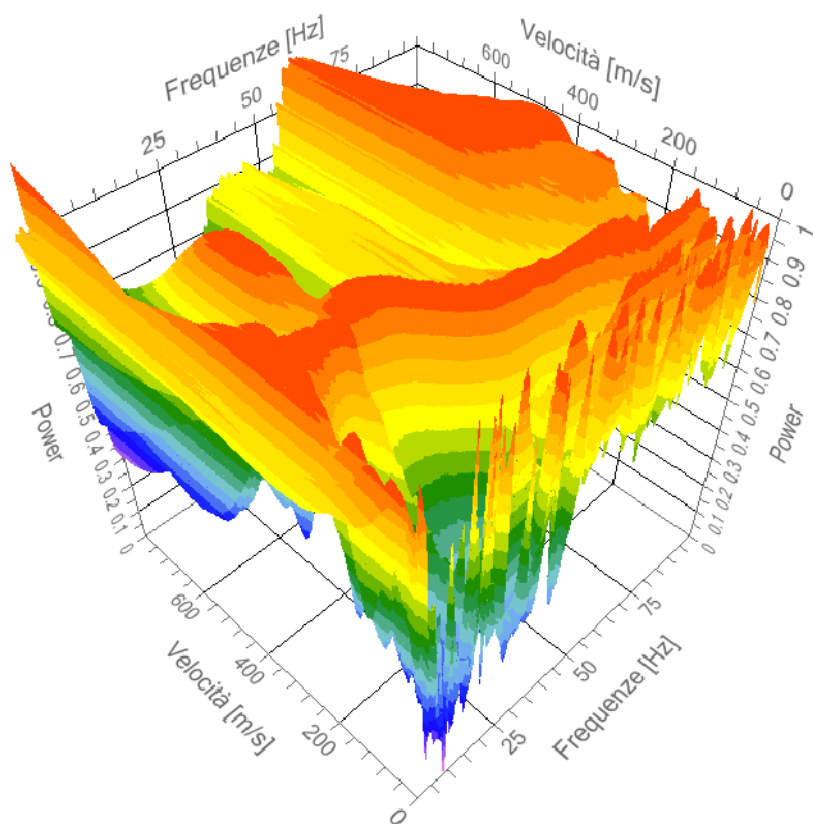
Committente: EDILIZIA FERRACCI s.r.l.  
 Cantiere: REALIZZAZIONE DI N°2 EDIFICI PER CIVILE ABITAZIONE  
 Località: FRAZ. SANT'ANGELO DI CELLE - DERUTA  
 Operatore: Dott. Geol. Servettini Luca  
 Responsabile: Dott. Geol. Servettini Luca  
 Data: 01/10/2016



## Analisi spettrale

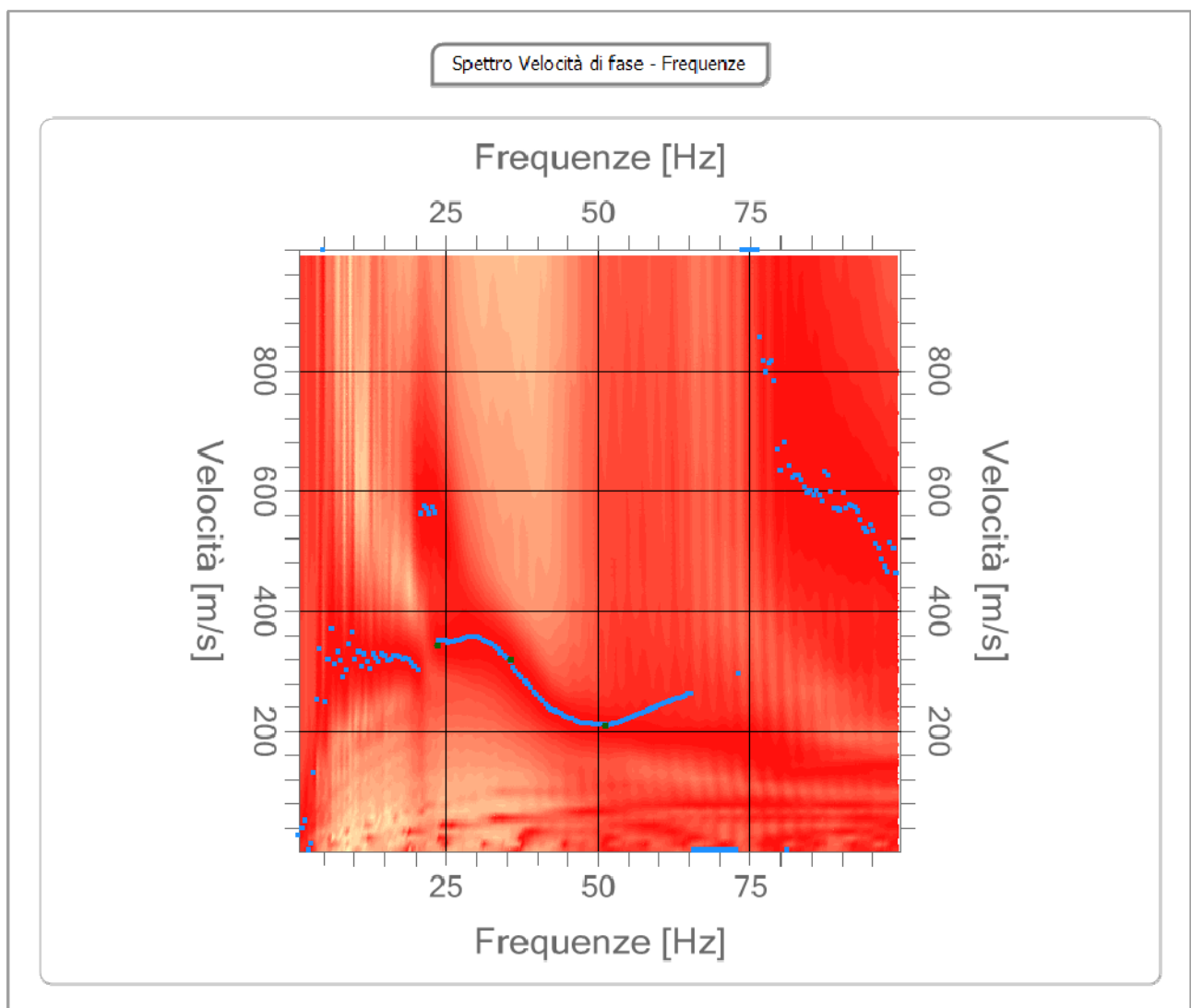
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1000
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



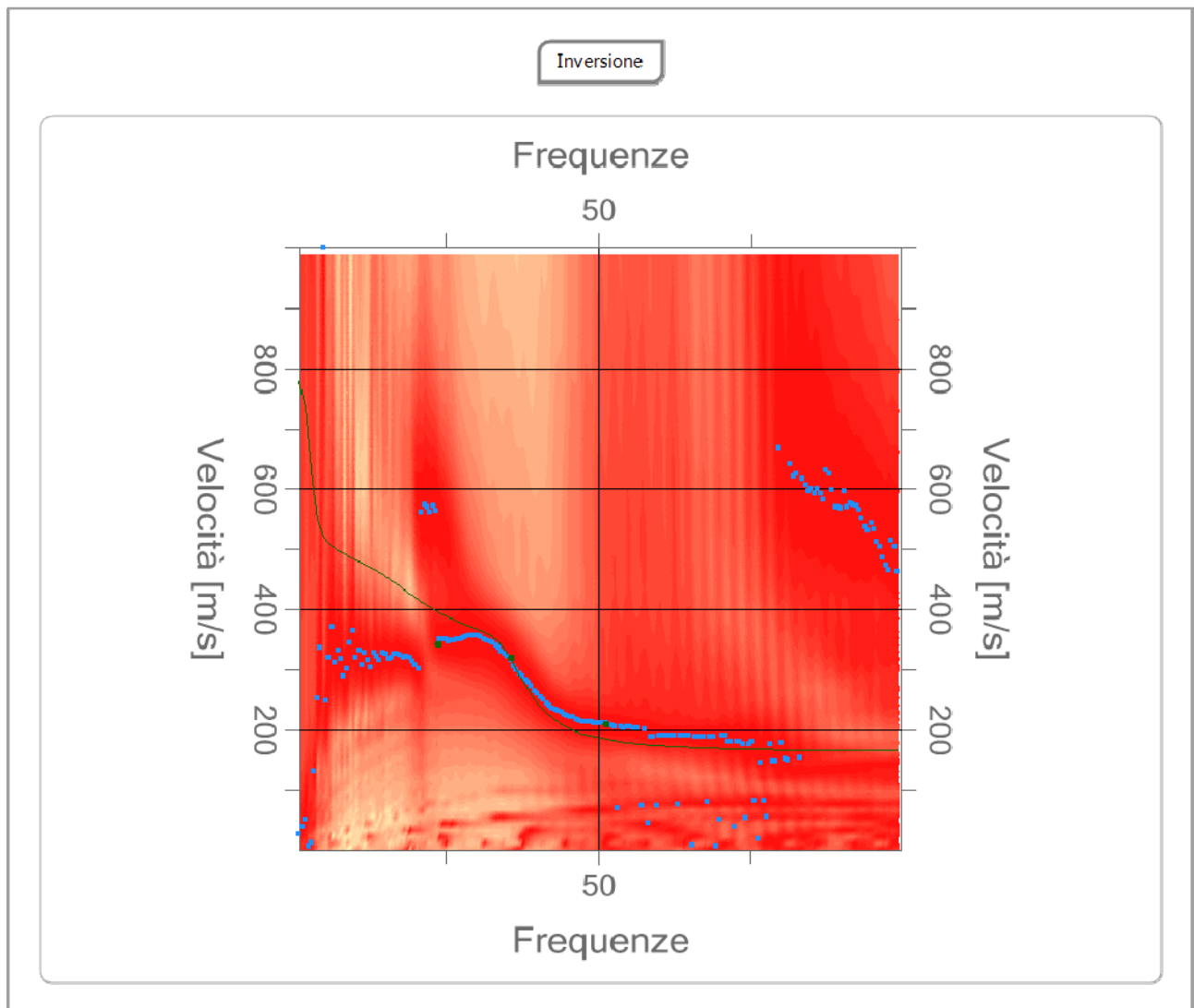
### Curva di dispersione

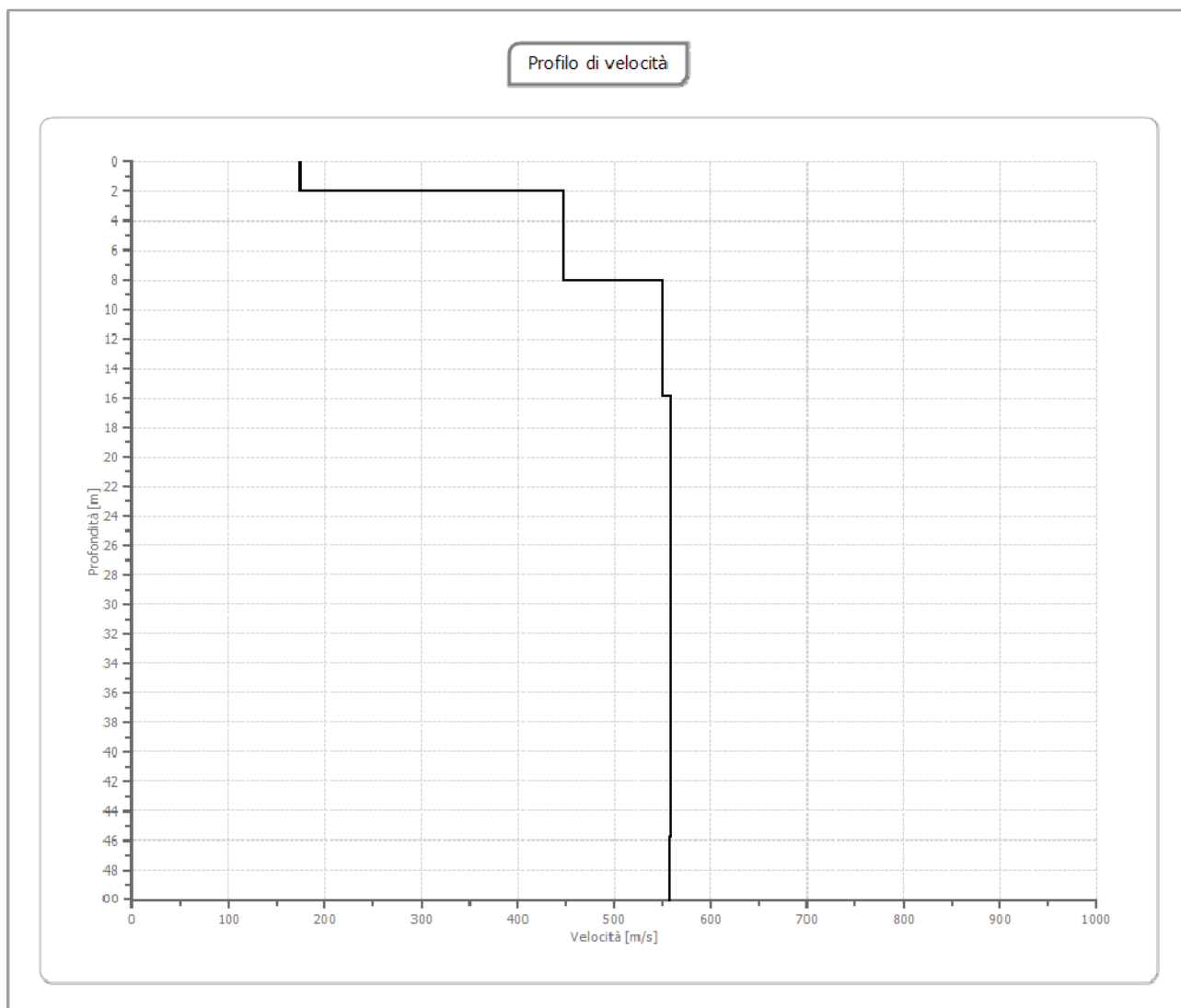
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	23.7	342.6	0
2	35.6	319.0	0
3	51.4	209.4	0



### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.00	2.00	2000.0	0.4	No	425.7	173.8
2		8.00	6.00	1950.0	0.4	Si	930.9	447.2
3		15.86	7.86	2100.0	0.4	No	1348.4	550.5
4		45.86	30.01	2100.0	0.4	No	1367.5	558.3
5		82.59	36.73	2200.0	0.4	No	1364.6	557.1
6		oo	oo	2300.0	0.4	No	2121.4	866.1





## Risultati

<b>Profondità piano di posa</b>	0.00
<b>[m]</b>	
<b>Vs30 [m/sec]</b>	464.89
<b>Categoria del suolo</b>	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
PARAMETRI:									
$\gamma$	=	1,9	g/cm <sup>3</sup>						
$\sigma_{vo}$	=	0,665	kg/cm <sup>2</sup>						
$\sigma_{vo}'$	=	0,665	kg/cm <sup>2</sup>						
profondità della prova	=	350	cm						
profondità falda	=	350	cm						
$\gamma_{H2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>						
Pressione neutra	=	0	kg/cm <sup>2</sup>						
z	=	3,5	m						
$V_s$	=	400							
$V_{s1c}$	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%			
				220	210	200			
$V_{s1}$	=	442,95							
M	=	6,0							
MSF	=	2,09	se M≤7,5						
		1,77	se M>7,5						
FORMULE:				RISULTATI:					
$V_{s1}$	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		442,95		$V_{s1}$			
R	=	$0,03 \cdot (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) \cdot (0,9/V_{s1c})$		0,580486075		R			
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}'/\sigma_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$	se M≤7,5	0,056978328		$T_{M \leq 7,5}$			
			se M>7,5	0,067232606		$T_{M > 7,5}$			
$a_{max}/g$	=	0,25							
$r_d$	=	0,73225							
$F_s=R/T$	>	1	se M≤7,5	10,18783971		Verificato $F_s$			
			se M>7,5	8,633996324		Verificato $F_s$			
"Software Freeware distribuito da geologi.it" Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 - E mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820									

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S