



**COMUNE DI FANO**  
**Provincia di Pesaro Urbino**

Settore Lavori Pubblici – U.O.C. Coordinamento e Programmazione LL.PP.

**INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL CENTRO  
STORICO - PIAZZA MARCOLINI**  
**CUP E33D18000380004 CUI: L00127440410201900036**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**FASCICOLO INDAGINE GEORADAR**

**PROGETTO FINANZIATO CON I FONDI EUROPEI**

**PNRR: M2C4: Tutela del territorio e della risorsa idrica - I2.2: Interventi per la resilienza, la  
valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei Comuni**



**IL PROGETTISTA**  
(Dott. Arch. Pamela Lisotta)

**Responsabile Unico del Procedimento:**  
Geom. Mario Silvestrini



COMUNE  
DI FANO

RIQUALIFICAZIONE DI PIAZZA MARCOLINI  
PROSPEZIONE GEORADAR



RAPPORTO LAVORI



**GeoExploration**  
www.geoexploration.net **srl**

Via Emilia Levante 35547121  
48014 Castel Bolognese (RA)  
e-mail: info@geoexploration.net  
pec: geoexploration.srl@pec.it

*Committente*  
**Comune di Fano**

*Via San Francesco d'Assisi, 76*  
*61032 Fano (PU)*

CODICE	DATA	REV.	REDATTO	VERIFICATO
GE_R14_22	18/05/2022	0	DOTT. GEOL. DIEGO PERACCINI	ING. GIUSEPPE MAINARDI

## *Indice*

1	PREMESSA.....	2
2	METODO GEORADAR AD IMPULSI ELETTROMAGNETICI (GPR) .....	3
3	MODALITÀ ESECUTIVE DELLA PROSPEZIONE GEORADAR .....	7
4	ESITO DELL'INDAGINE GEORADAR.....	9

## *Elenco Tavole*

Tavola 1 – Planimetria linee GPR	<i>(Foglio A2 – scala 1:100)</i>
Tavola 2 – Planimetria probabili sottoservizi	<i>(Foglio A2 – scala 1:100)</i>
Tavola 3 – Planimetria anomalie GPR	<i>(Foglio A2 – scala 1:100)</i>

## *Note*

I radargrammi elaborati sono scaricabili al seguente link:

[https://www.dropbox.com/sh/fr0yy526gmv4sol/AAAMJXG\\_Wne4\\_RPfl1PYav3ja?dl=0](https://www.dropbox.com/sh/fr0yy526gmv4sol/AAAMJXG_Wne4_RPfl1PYav3ja?dl=0)

I radargrammi sono visualizzabili scaricando il software Radan 7 al seguente link:

<https://support.geophysical.com/gssiSupport/Products/RADAN/software/Radan7setup.zip>

## 1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Fano, denominato *“Riqualificazione di Piazza Marcolini - Prospezione Georadar CUI: L00127440410201900036 - CUP: E33D18000380004 CIG: 9209263C3B”*, è stata effettuata una prospezione geofisica con metodologia continua e non distruttiva del tipo georadar (GPR) in piazza Marcolini e in parte nelle vie adiacenti.

L'indagine è stata eseguita al fine di individuare eventuali anomalie sub-superficiali fino alla profondità di 2 metri da piano campagna.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita nelle giornate di mercoledì 4 maggio e giovedì 5 maggio 2022. Sono state registrate N. 118 linee georadar per un'estensione totale di 2611 metri di rilievo.

L'ubicazione dell'area investigata è riportata in Figura 1 (non in scala), mentre la planimetria di dettaglio delle linee e delle anomalie GPR rilevate sono riportate in Tavola 1 e Tavola 2 (scala 1:200).



*Figura 1 – Ubicazione indicativa delle aree d'indagine (perimetro rosso) – (fonte Google Earth)*

Segue in questo rapporto lavori l'esposizione del metodo georadar utilizzato, la descrizione delle modalità esecutive della prospezione ed infine le informazioni desunte dall'interpretazione delle anomalie maggiormente significative ottenute dall'elaborazione definitiva dei dati.



## 2 METODO GEORADAR AD IMPULSI ELETTROMAGNETICI (GPR)

Il metodo georadar è basato sul principio della propagazione di impulsi elettromagnetici nei materiali e sulla loro riflessione in corrispondenza delle superfici di discontinuità dovute a variazioni di permittività dielettrica che generalmente, in questo contesto, è rappresentata dalla costante dielettrica dei materiali investigati.

Il principio di funzionamento delle strumentazioni georadar utilizzate (SIR-4000 prodotto dalla GSSI-USA) può essere sinteticamente descritto nel modo seguente (Figura 2): l'acquisizione dei dati avviene facendo scorrere un'antenna ricetrasmittente lentamente sulla superficie del terreno da investigare; nell'unità centrale sono generati dei segnali ad intervalli regolari che servono a sollecitare i circuiti elettronici dell'antenna trasmittente, da questa sono irradiati degli impulsi elettromagnetici che, propagandosi attraverso i materiali, vengono riflessi in corrispondenza delle interfacce di entità dielettriche diverse.

Gli eventi riflessi sono captati dall'elemento ricevente e inviati nell'unità centrale.

L'apparecchiatura consente di visualizzare su display a colori il radargramma registrato in tempo reale e simultaneamente memorizza i dati su disco rigido per la successiva elaborazione al computer con opportuno software.

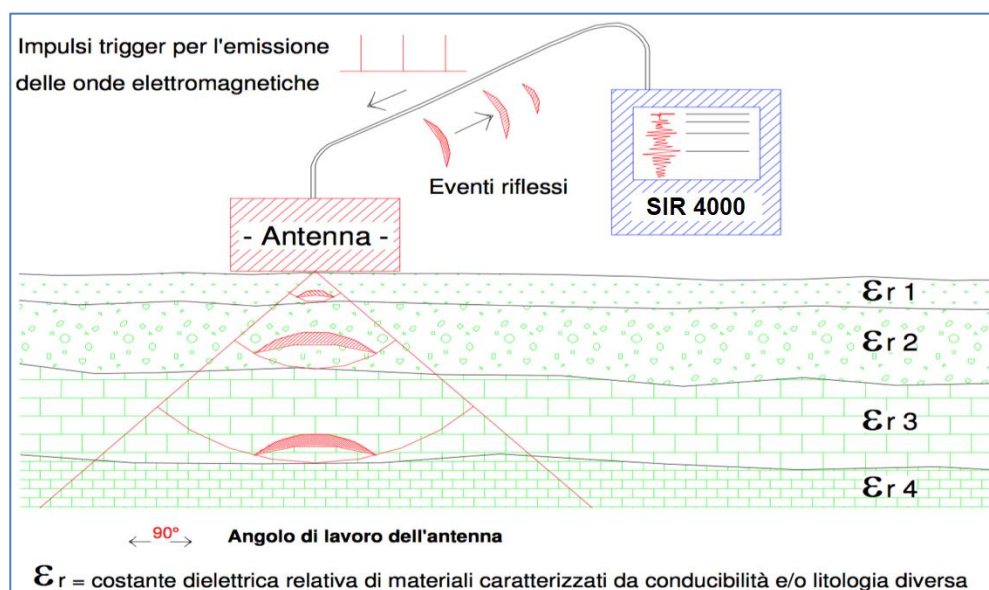
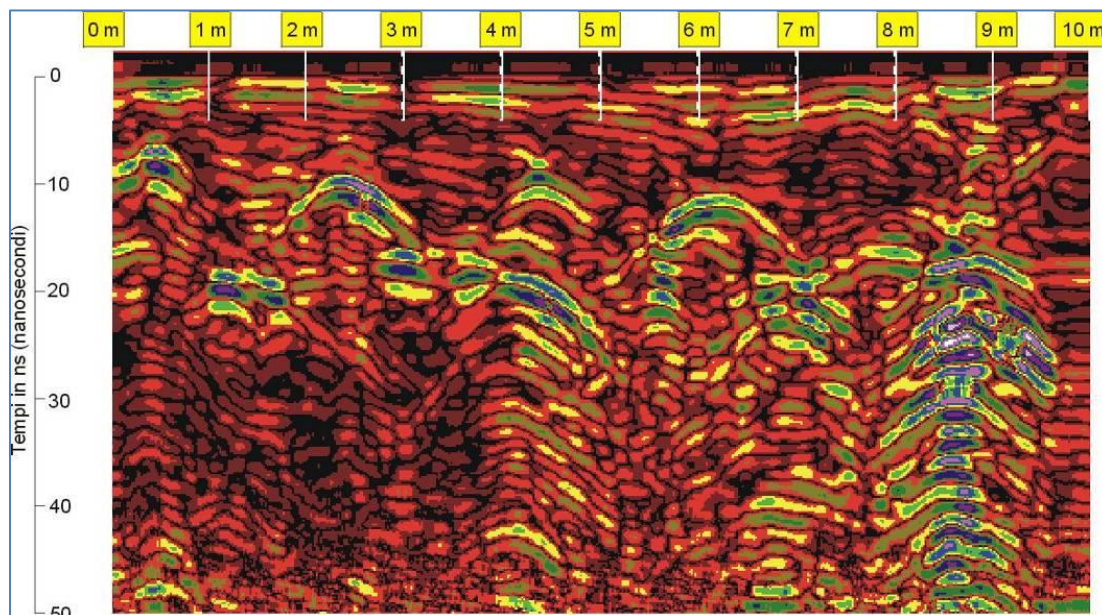


Figura 2 - Principio di funzionamento del metodo georadar (GPR)

Lo scopo fondamentale del trattamento digitale dei dati al computer è quello di migliorarne l'aspetto tramite operazioni di filtraggio, normalizzazione, amplificazione, ecc. al fine di semplificare la lettura e quindi l'interpretazione delle eventuali anomalie.

Sull'asse orizzontale dei radargrammi sono visualizzate le progressive metriche della linea registrata mentre su quello verticale si trovano i tempi di percorso in andata e ritorno dei tragitti riflessi.



*Figura 3 - Esempio di radargramma*

La risoluzione orizzontale dei segnali è inversamente proporzionale alla velocità di spostamento dell'antenna e la risoluzione verticale è direttamente proporzionale alla frequenza centrale degli impulsi emessi.

L'intensità degli eventi riflessi è tanto più forte quanto il contrasto fra le variazioni dielettriche è maggiore. La profondità d'indagine non può essere stabilita a priori del rilievo ma dipende dall'assorbimento dell'energia elettromagnetica da parte dei materiali in cui essa si propaga e quindi dalla natura dei mezzi attraversati, dallo stato fisico degli elementi che li compongono e da fattori ambientali e/o locali quali la temperatura, l'umidità, la presenza di cavità, ecc. Inoltre, l'obiettivo della prospezione e la profondità di penetrazione sono vincolati alla lunghezza d'onda degli impulsi: infatti se una struttura sepolta ha dimensioni molto piccole, essa viene rilevata soltanto con segnali di brevissima durata la cui elevata attenuazione a livello energetico ne limita però la penetrazione.

In sintesi: antenne con frequenze alte consentono una buona risoluzione fino a modeste profondità mentre antenne con frequenze basse offrono un dettaglio relativamente inferiore, ma permettono una maggior estensione di misura dal piano campagna.

Le antenne maggiormente utilizzate per indagini georadar sono elencate in Tabella 1.

Frequenza delle Antenne (MHz)	Penetrazione in un suolo medio (V = 0,09 m/ns)	Risoluzione Verticale (metri)	Campi d'impiego
1500	30 cm	0,01	Rilievi su strutture in cls, murature, manti stradali
800-900	1 metro	0,05	Rilievi su strutture, ricerca di sottoservizi e indagini su strade e rivestimenti di gallerie
400-500	3 metri	0,1	Ricerca archeologica e di sottoservizi, indagini su strade e rivestimenti di gallerie
200-300	5 metri	0,2	Ricerca archeologica e di cavità su terreni e manufatti
100	8 metri	0,5	Ricerca archeologica, di grossi bersagli profondi e di cavità, indagini stratigrafiche

*Tabella 1 - Caratteristiche Antenne GPR*

La ricostruzione della sezione radarstratigrafica (conversione tempi-profondità) viene effettuata applicando, ai tempi di riflessione, i valori delle velocità di propagazione relativi alle costanti dielettriche, dei materiali investigati, con l'eventuale supporto di tarature dirette.

La velocità media di propagazione delle onde elettromagnetiche è legata alla costante dielettrica dalla seguente relazione:

$$V_m = C / \sqrt{\epsilon_r}$$

dove  $C = 0.300$  m/nsec (velocità della luce nel vuoto) ed  $\epsilon_r$  è la costante dielettrica relativa del materiale normalizzata a quella dell'aria.

La presenza di acqua o umidità nei materiali in esame, comporta un aumento della costante dielettrica relativa (vedi incremento della conduttività) e quindi una diminuzione della velocità degli impulsi elettromagnetici.

La conoscenza della costante dielettrica relativa è utile per determinare il tipo di materiale investigato e del suo grado di saturazione (Tabella 2)

Si fa presente che i radargrammi rendono evidenti i livelli riflettenti ed eventuali anomalie elettromagnetiche, dandone indicazioni quantitative e non qualitative.

La definizione di tali anomalie viene fornita nella fase d'interpretazione dei dati, in base alla tipologia (es. forma dell'oggetto che ha provocato la riflessione) e alla continuità planimetrica di echi identici o assimilabili.

MATERIALE	$\sigma$ mho/m	$\epsilon_r$
Aria	da $10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-2}$	1
Acqua dolce	da $10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-2}$	81
Acqua marina	4	81
Ghiaccio di acqua dolce	$10^{-3}$	4
Granito (asciutto)	$10^{-8}$	5
Calcere (asciutto)	$10^{-9}$	7
Argilla (satura)	da $10^{-1}$ a 1	da 8 a 12
Neve farinosa	da $10^{-6}$ a $10^{-5}$	1.4
Sabbia (asciutta)	da $10^{-6}$ a $10^{-3}$	da 4 a 6
Sabbia (satura)	da $10^{-4}$ a $10^{-2}$	30
Silt (saturo)	da $10^{-3}$ a $10^{-2}$	10
Ghiaccio di acqua marina	da $10^{-2}$ a $10^{-1}$	da 4 a 8
Basalto (bagnato)	$10^{-2}$	8
Granito (bagnato)	$10^{-3}$	7
Argilloscisto (bagnato)	$10^{-1}$	7
Arenaria (bagnata)	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Calcere (bagnato)	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
Suolo sabbioso (asciutto)	$1.4 \cdot 10^{-4}$	2.6
Suolo sabbioso (bagnato)	$6.9 \cdot 10^{-3}$	25
Suolo siltoso (asciutto)	$1.1 \cdot 10^{-4}$	2.5
Suolo siltoso (bagnato)	$2.1 \cdot 10^{-2}$	19
Suolo argilloso (asciutto)	$2.7 \cdot 10^{-4}$	2.4
Suolo argilloso (bagnato)	$5 \cdot 10^{-2}$	15

*Tabella 2 – Costante dielettrica e grado di saturazione di alcuni materiali*



### 3 MODALITÀ ESECUTIVE DELLA PROSPEZIONE GEORADAR

Il programma delle indagini georadar ed in particolar modo l'ubicazione delle linee registrate, è stato stabilito in accordo con il Committente. Sono state acquisite n.96 linee e la prospezione è stata articolata come segue:

1. Acquisizione dati con parametri definiti nel corso di prove preliminari, utilizzando un'apparecchiatura georadar GSSI SIR-4000 munita di antenna digitale a doppia frequenza 300/800 MHz (file 1-89 e 113-120) e di antenna digitale 200 HS da 200 MHz Hyper Stacking con tecnologia wireless (file 92-112).

Il tracciamento delle linee è stato predisposto mediante cordelle metriche. Le progressive di avanzamento sono state riportate sui radargrammi mediante ruota contimetri esistente sul carrello porta-strumentazione

Le linee georadar sono state numerate da 1 a 120 (i file 90 e 91 non sono presenti), corrispondenti ai numeri dei *files* d'identificazione registrati (vedasi *Tabella 3*).

Il numero delle Linee/File è indicato all'inizio (p.m. 0) del tracciato di percorrenza seguito durante la registrazione dei dati.

Su ogni linea sono state registrate 100 scansioni/metro con 512 campionamenti del segnale per scansione. La profondità di rilievo è stata impostata per raggiungere circa 3 metri dal p.c.

2. Elaborazione dei radargrammi presso la nostra sede tramite PC con software RADAN 7 attraverso operazioni di *background removal* (attenuazione del rumore coerente), *filtering* (filtraggio degli eventi di disturbo) e *position* (aggiustamento del tempo "zero");
3. Analisi dei segnali georadar con individuazione e annotazione degli eventi anomali;
4. Interpretazione dei risultati ottenuti e attribuzione delle tipologie dei segnali anomali alle presunte cause che li possono aver generati.

Numero di file	Lunghezza Linea (m)	Numero di file	Lunghezza linea (m)	Numero di file	Lunghezza linea (m)	Numero di file	Lunghezza linea (m)
1	2,4	36	22,2	71	16,6	108	42
2	2,4	37	22	72	16	109	41,2
3	2,5	38	22	73	53,5	110	42
4	2,5	39	4,4	74	53,4	111	41,5
5	2,5	40	21,8	75	41,8	112	54
6	2,3	41	21,8	76	42	113	54
7	23,2	42	21,8	77	42	114	6,4
8	23,2	43	21,6	78	41,8	115	4,2
9	23,2	44	21,6	79	42	116	3,6
10	4,2	45	21,5	80	42	117	5,2
11	23,2	46	15	81	42,3	118	4,6
12	23,2	47	21,4	82	42	119	4,3
13	23,2	48	21,2	83	42	120	4,2
14	23,2	49	21,2	84	42	<b>TOT</b>	<b>2611,1</b>
15	23,2	50	2,8	85	42,3		
16	17,3	51	2,8	86	42,8		
17	23	52	2,8	87	42,3		
18	22	53	2,8	88	54,2		
19	22	54	2,8	89	54,2		
20	22	55	2,8	92	20,4		
21	32,6	56	3,4	93	20,4		
22	34	57	3,4	94	22,4		
23	34	58	3,4	95	21,4		
24	34,8	59	3,4	96	32,6		
25	34,4	60	3,4	97	32,6		
26	28	61	3,4	98	23		
27	23,2	62	3,5	99	22		
28	22,7	63	3,5	100	9,6		
29	22,6	64	3,5	101	21,5		
30	22,5	65	3,5	102	21,5		
31	4,3	66	3,5	103	21		
32	22,4	67	3,5	104	53,2		
33	22,4	68	11	105	53		
34	22,4	69	4,8	106	41,6		
35	22,2	70	4,8	107	41		

*Tabella 3 – Elenco delle linee registrate*

## 4 ESITO DELL'INDAGINE GEORADAR

A seguito dell'elaborazione completa dei dati è stata eseguita l'interpretazione dei radargrammi con lo scopo d'individuare, lungo le linee registrate, quelle anomalie interessanti ai fini specifici dell'incarico ricevuto.

Nell'elaborato planimetrico di Tavola 1 (scala 1:100) sono riportate le linee registrate; in Tavola 2 (scala 1:100) sono riportati i probabili tracciati dei sottoservizi rilevati mentre in Tavola 3 (scala 1:100) le anomalie riscontrate all'interno dell'area indagata.

I valori delle profondità indicate sono soggetti ad una tolleranza di misura del +/- 15%, attribuibile alla variazione della velocità degli impulsi georadar nei tipi di terreno, materiali di riporto e pavimentazioni presenti nell'area di studio. Per profondità s'intende sempre la distanza dal piano campagna alla discontinuità dielettrica riflettente più vicina alla superficie (sommità del bersaglio).

Analizzando gli spettri d'ampiezza delle tracce riflesse sui radargrammi acquisiti si evidenzia una discreta penetrazione dell'energia elettromagnetica immessa nel sottosuolo delle aree indagate fino a una profondità di circa 2 m da p.c.

Si rammenta che nel caso di buona penetrazione il rapporto "profondità d'indagine/dimensioni dell'obiettivo" è di circa 3/1 (es. un oggetto a profondità di 90 cm dovrà avere un diametro/ingombro di circa 30 cm per essere intercettato).

L'elenco delle principali anomalie rilevate e interpretate è riportato in legenda in Tavola 3 e in Figura 4.

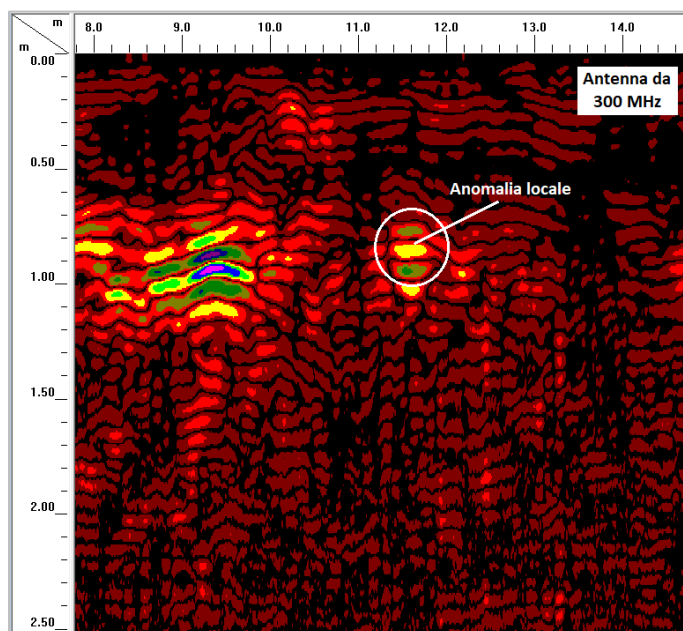
LEGENDA	
<p>40 X Anomalia locale e relativa profondità in cm da p.c.</p>	<p>40 Eventuale riflesso di media intensità associabile a vecchia pavimentazione e profondità in cm da p.c.</p>
<p>150 ▲ Vuoto locale e relativa profondità in cm da p.c.</p>	<p>40 Anomalia associabile a probabile struttura interrata e relativa profondità in cm da p.c.</p>
	<p>40 Terreno rimaneggiato e/o lavorazioni sotto il manto stradale e relativa profondità in cm da p.c.</p>

*Figura 4 – Legenda anomalie GPR rilevate e interpretate*

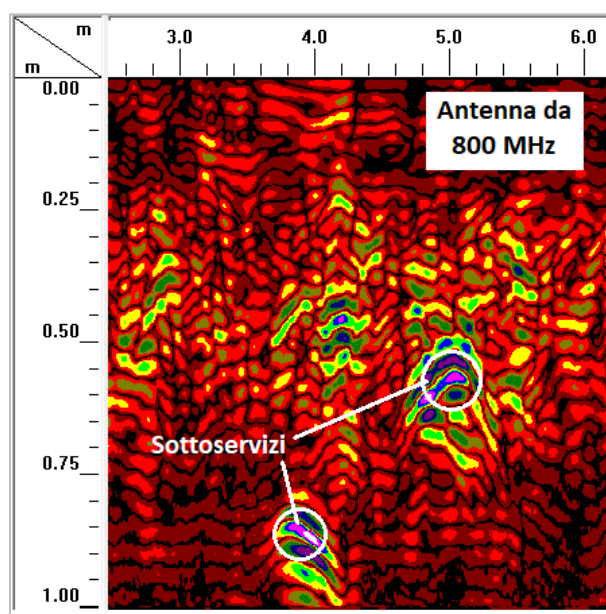
Di seguito viene descritta ogni tipologia di anomalia georadar riscontrata ed associato un esempio di radargramma rappresentativo.

Si definisce *anomalia locale* una perturbazione del segnale non meglio definita che può essere associata a oggetti sepolti, trovanti, laterizi o terreno rimaneggiato locale individuato a una certa profondità da p.c. (Figura 5); mentre l'anomalia riconducibile a un sottoservizio è maggiormente definita e ha una tipica forma a iperbole il cui tetto ne definisce la profondità (Figura 6).

Quando le anomalie riconducibili a sottoservizio sono ben definite e allineate tra loro e a eventuali pozzetti viene disegnato il relativo tracciato in planimetria (Tavola 2).



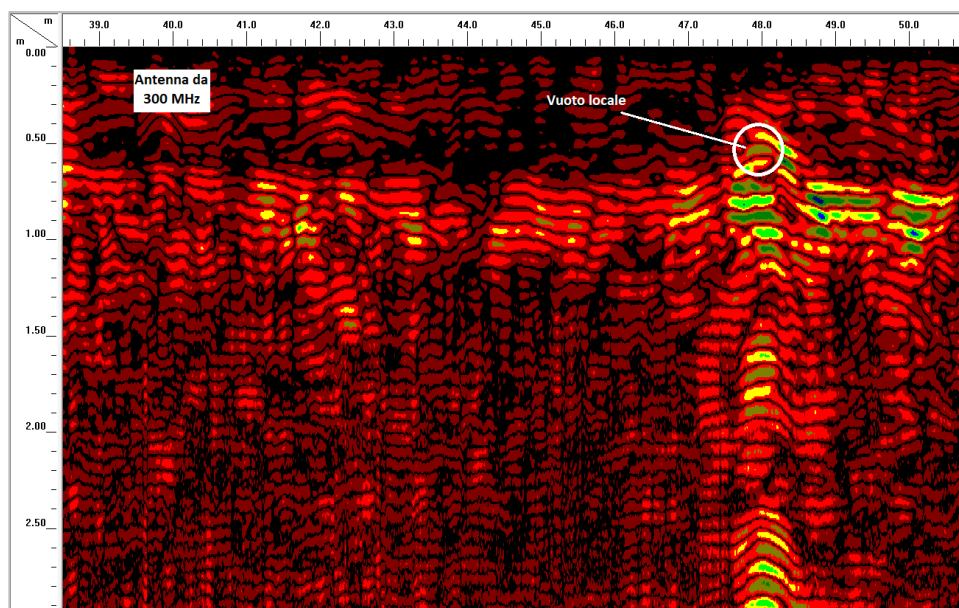
*Figura 5 – Esempio di anomalia locale non meglio definita (file n.74)*



*Figura 6 – Esempio di anomalia riconducibile a sottoservizio (file n.84)*

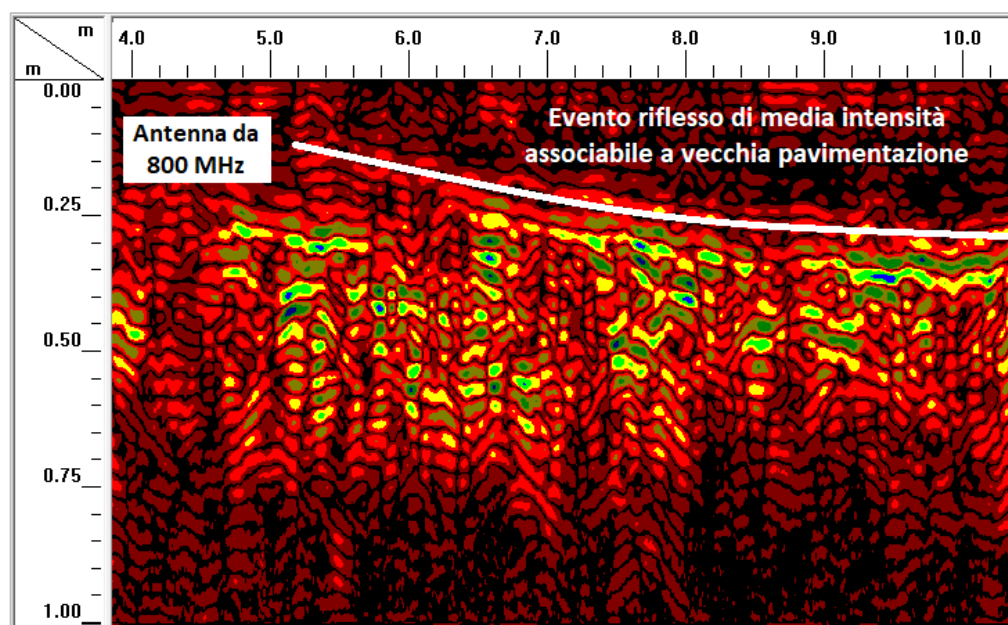


Si riporta in *Figura 7 – Esempio di vuoto locale (file n.74)* *Figura 7* un esempio di anomalia associabile a un vuoto locale (campitura di colore arancione in Tavola 2).



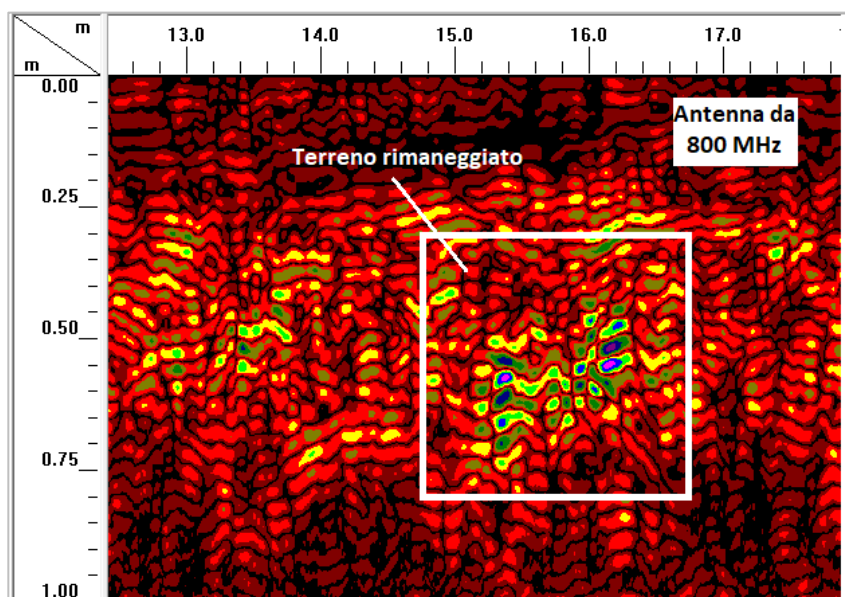
*Figura 7 – Esempio di vuoto locale (file n.74)*

Nei radargrammi si individuano zone aventi eventi riflessi di media intensità di difficile interpretazione le quali si possono associare a un contatto tra terreno e vecchia pavimentazione. Queste anomalie, individuate come nell'esempio di *Figura 8*, sono mappate in Tavola 3 con campitura verde.



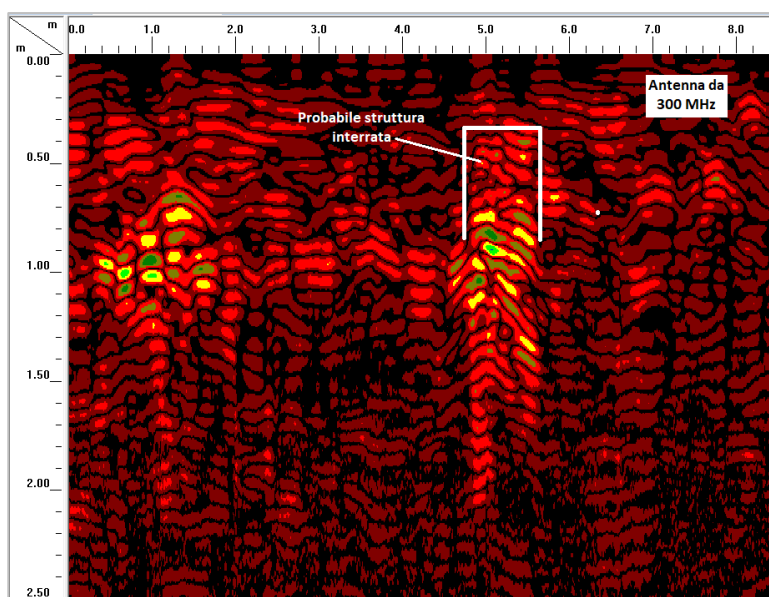
*Figura 8 – Esempio di anomalia estesa con segnale riflesso di media intensità (file n.36)*

Si riporta in Figura 9 un esempio di anomalia associabile a materiale rimaneggiato e/o di riporto (campitura di colore marrone in Tavola 3).



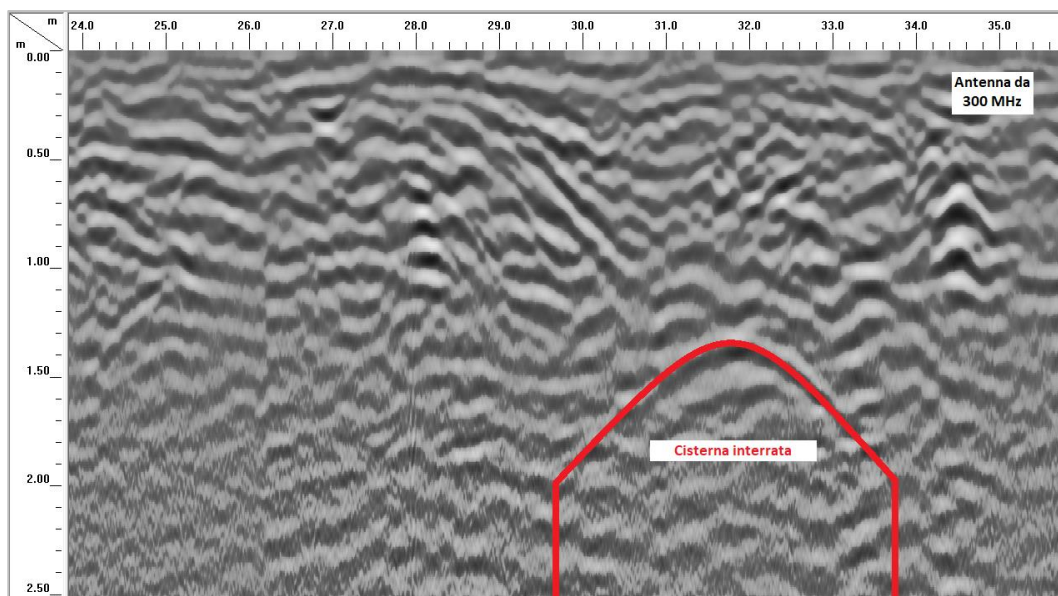
*Figura 9 – Esempio di anomalia estesa associabile a terreno rimaneggiato e/o lavorazioni sotto il manto stradale (file n.26)*

In *Figura 10* un esempio di anomalia associabile a probabile struttura interrata (campitura di colore grigio in Tavola 3).

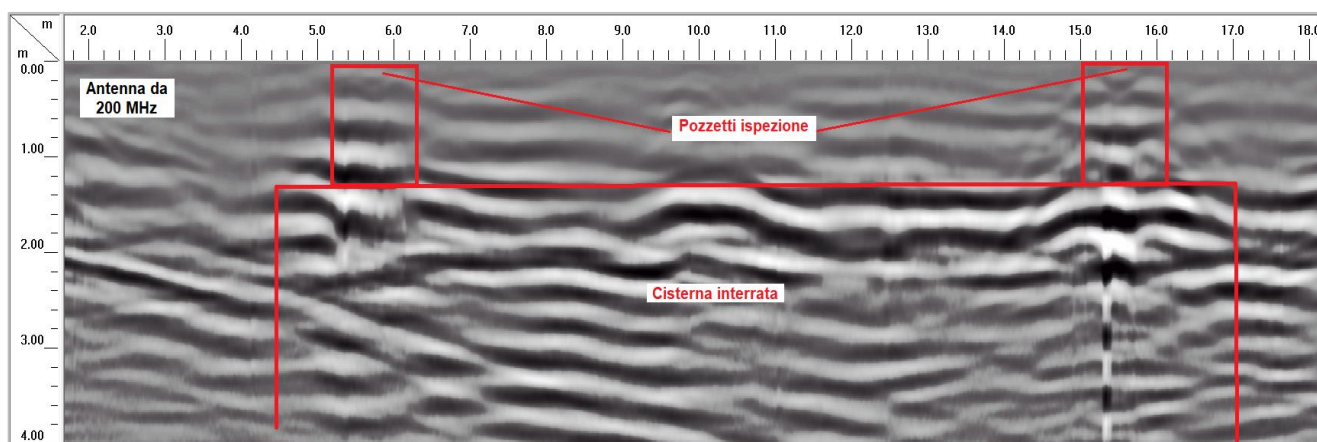


*Figura 10 – Esempio di anomalia estesa associabile a probabile struttura interrata (file n.79)*

Infine in *Figura 11* (antenna da 300 MHz) e *Figura 12* (antenna da 200 MHz HS) un esempio di anomalia associabile alla cisterna interrata (Tavola 3).



*Figura 11 – Esempio di anomalia associabile alla cisterna interrata intercettata trasversalmente (file n.82)*



*Figura 12 – Esempio di anomalia associabile alla cisterna interrata intercettata longitudinalmente (file n.96)*

Per qualsiasi ulteriore dettaglio si rimanda agli elaborati planimetrici di Tavola 1, 2 e 3 (foglio A2 – scala 1:100).

Castel Bolognese, maggio 2022

*Dott. Geol. Diego Peraccini*  
*Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*  
*Sezione A - N. 1239*



---

*Dott. Ing. Giuseppe Mainardi*  
*Ordine degli Ingegneri Provincia di Ravenna*  
*Sezione A – Settore A - N. 1826*





Ingresso Istituto S. d'Arte

Via A. Apolloni

Via F. De Borgogelli



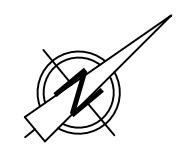
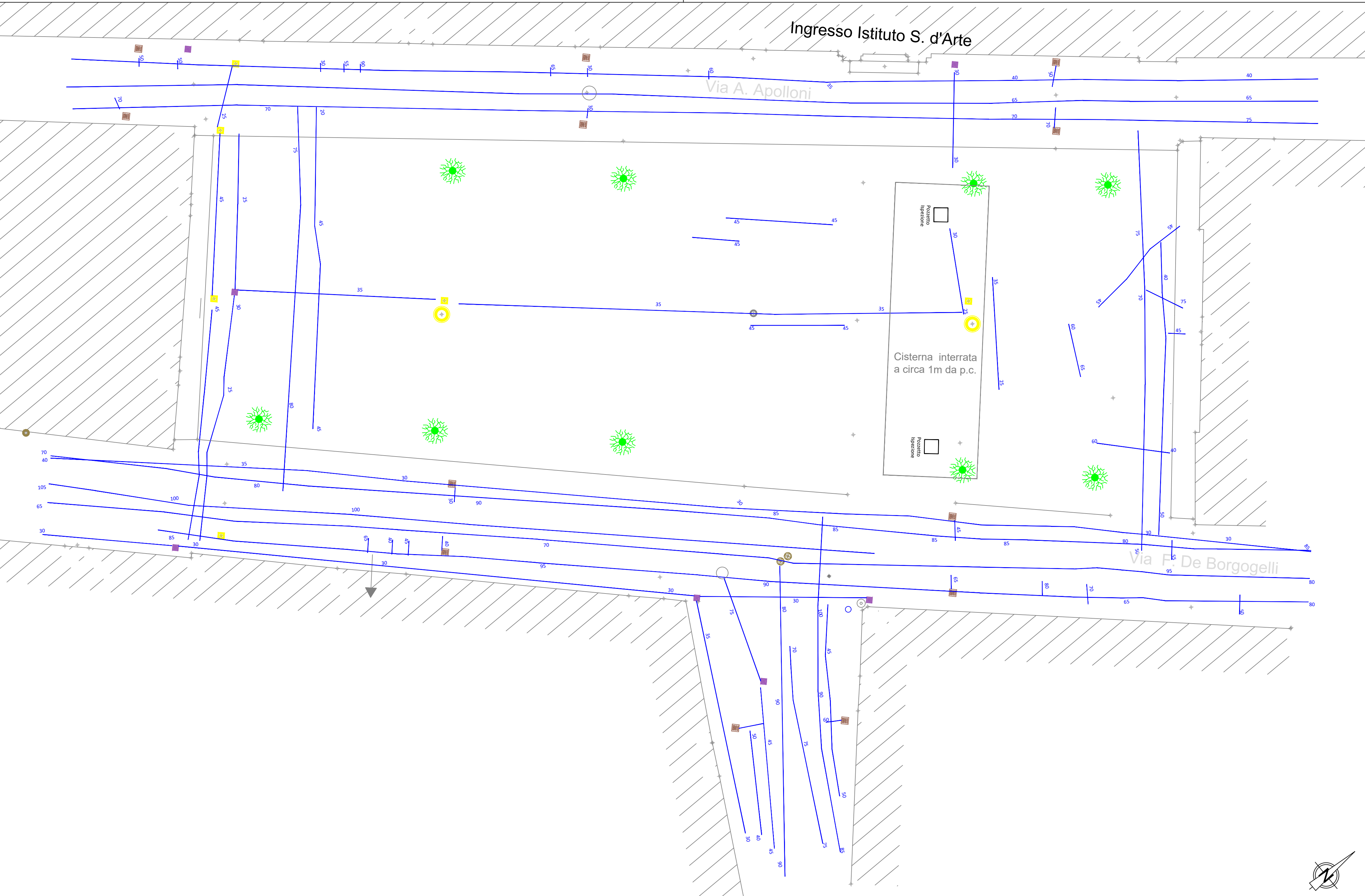
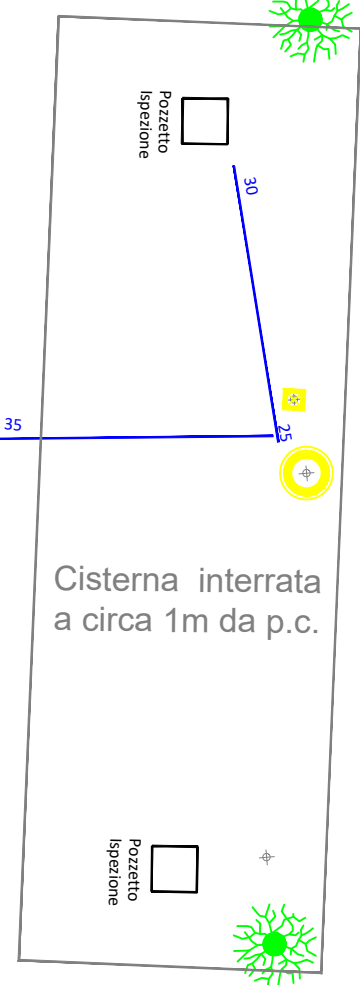
LEGENDA

1 — Linea georadar e relativo numero di file su progressiva metrica zero

Ingresso Istituto S. d'Arte

Via A. Apolloni

Via F. De Borgogelli



Ingresso Istituto S. d'Arte

Via A. Apolloni

Via F. De Borgogelli

Cisterna interrata a circa 1m da p.c.

Pozzetto Ispezione

Pozzetto Ispezione

piccolo vano a 2,25m



LEGENDA

- 40 Anomalia locale e relativa profondità in cm da p.c.
- X Anomalia locale e relativa profondità in cm da p.c.
- ▲ Vuoto locale e relativa profondità in cm da p.c.

- 40 Evento riflesso di media intensità associabile a vecchia pavimentazione e profondità in cm da p.c.
- 40 Anomalia associabile a probabile struttura interrata e relativa profondità in cm da p.c.
- 40 Terreno rimaneggiato e/o lavorazioni sotto il manto stradale e relativa profondità in cm da p.c.

TAVOLA 3  
Planimetria anomalie GPR

scala 1:100

