



COMUNE DI SASSARI

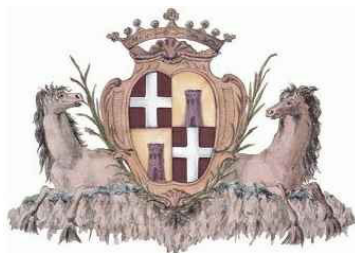
Piazza del Comune 1 – 07100 Sassari
protocollo@pec.comune.sassari.it
telefono: +39 079279111

CONCORSO DI PROGETTAZIONE A PROCEDURA APERTA A DUE GRADI
CENTRO INTERMODALE PASSEGGERI VIA XXV APRILE
RESTAURO E RICONVERSIONE FUNZIONALE DEL FABBRICATO
EX CENTRALE ELETTRICA

DT10 RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR

CUP [B83D21002040006]

CIG [8999947F33]



COMUNE DI SASSARI

Settore Infrastrutture della Mobilità

Centro intermodale passeggeri via XXV Aprile - Sassari

PROGETTO ESECUTIVO DELLA BONIFICA - 1° STRALCIO

CIG: 7060233096 - CUP B81H02000170006

REV.	DATA	DESCRIZIONE
0	28/09/2018	Emissione
1	09/11/2018	Revisione
2		
3		

GRUPPO DI LAVORO: Responsabile dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche: ing. Alfredo Cappellini Progettazione esecutiva: dott. Raffaele Pellegatta ing. Daniele Vezzoli ing. Claudio Giuseppe Carnabuci (g.p.) ing. Francesco Cocco Indagini Geognostiche e Ambientali: geol. Gabriele Cerutti Ambiente e Territorio ing. Davide Colombo Geologia: geol. Giulio Giorgetti geol. Diego Servida Coordinatore della Sicurezza: ing. Simone Trombino	TITOLO:  Risultati dell'indagine georadar	CODICE ELABORATO B2 Commissa: 2176069 Nome file: B2_Ind Georadar_rev1.pdf
---	---	---

R.T.I.  Mandataria HPC Italia s.r.l. - via Francesco Ferrucci 17/A - 20145 Milano	 DIRETTORE TECNICO: GEOL. CLAUDIO TOMMASO VIOLA	 Mandante Serv.In. Ingegneria s.r.l. - via Pitzolo 26 - 09128 Cagliari	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: ING. SALVATORE MONGILI
--	--	--	---



HENGE

Heritage Engineering Geophysics

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. CENNI TEORICI	2
3. INDAGINI ESEGUITE.....	4
4. ELABORAZIONE DEI DATI E INTERPRETAZIONE	7
5. RISULTATI.....	8
5.1 GENERALITÀ SULLA RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI	8
5.2 ILLUSTRAZIONE DEI RISULTATI	11

1. PREMESSA

La società scrivente, denominata Henge S.r.l. Heritage Engineering Geophysics, con sede a Cagliari, Via Marengo 2, Codice Fiscale e Partita IVA 03670840929 ha ricevuto incarico dalla società HPC Italia S.r.l., con sede in Milano, Via Ferrucci 17/A, 20145 per la realizzazione di indagini GPR (Georadar) presso il Centro Intermodale, in località Sassari (SS).

Il rilievo GPR è finalizzato alla valutazione preventiva delle interferenze nell'area interessata dalle attività di bonifica e, pertanto, all'individuazione e mappatura delle anomalie radar riferibili alla presenza di reti tecnologiche e condotte interrate, serbatoi o qualsiasi altro oggetto che possa rappresentare una interferenza per l'esecuzione dei lavori.

2. CENNI TEORICI

Il metodo Georadar o Ground Probing Radar o GPR si basa sulla propagazione di impulsi elettromagnetici in un campo di frequenze che vanno generalmente da diverse decine di MHz a 2 o 3 GHz. L'onda elettromagnetica viene trasmessa nel sottosuolo per mezzo di appropriate antenne e riflessa verso la superficie in corrispondenza di materiali caratterizzati da differenti proprietà elettriche e magnetiche.

Trascinando l'antenna lungo un profilo si genera una sezione verticale (Radargramma) in cui sono rappresentate le ampiezze del segnale riflesso e i tempi di ritardo che questo impiega dopo la riflessione per giungere in superficie ed essere captate dall'antenna. Eseguendo diversi profili, paralleli e/o ortogonali opportunamente distanziati e organizzati per garantire una certa copertura di dati, si possono ottenere sia mappe a tempi o profondità costanti (Time Slices) sia rappresentazioni tridimensionali. Il parametro generalmente rappresentato è l'ampiezza del segnale radar riflesso.

L'onda elettromagnetica viene riflessa per contrasto di permittività dielettrica. La permittività elettrica che viene presa in considerazione è la permittività elettrica relativa (ϵ_r) espressa come il rapporto tra la velocità dell'onda elettromagnetica nel vuoto e quella nel suolo:

$$\epsilon_r = \frac{c^2}{v^2}$$

dove c rappresenta la velocità dell'onda elettromagnetica nel vuoto e v quella nel materiale in esame.

La profondità del bersaglio è data da:

$$z = \frac{t}{2} \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

dove z è la profondità dell'anomalia, c la velocità dell'onda elettromagnetica nel vuoto, $t/2$ il tempo che l'onda elettromagnetica impiega per percorrere il tragitto tra la superficie del terreno e l'anomalia, r è la costante dielettrica.

L'attenuazione del segnale elettromagnetico, ossia la riduzione dell'intensità dell'onda elettromagnetica all'aumentare della profondità, determina la massima profondità raggiungibile con il metodo GPR. L'attenuazione è strettamente dipendente dalla conducibilità elettrica dei materiali: maggiore è la conducibilità maggiore sarà l'attenuazione subita dal segnale elettromagnetico.

Un altro parametro fondamentale è la risoluzione, ossia la minima distanza orizzontale e verticale affinché due anomalie siano tra loro distinguibili. Il raggio di Fresnel indica la zona all'interno della quale due riflettori risultano non distinguibili tra loro. La zona di Fresnel ha una dimensione pari a $\lambda/4$. Assumendo che la lunghezza d'onda del segnale sia molto minore della profondità, la dimensione orizzontale minima distinguibile di un oggetto (ΔL) sarà proporzionale alla sua profondità e alla lunghezza d'onda centrale secondo la seguente formula:

$$\Delta L = \sqrt{\frac{z\lambda_c}{2}} = \sqrt{\frac{z v}{2 f_c}}$$

La risoluzione orizzontale aumenta all'aumentare della frequenza e diminuisce all'aumentare della profondità.

La risoluzione verticale (Δr), cioè la distanza minima lungo la direzione di propagazione dell'onda affinché due anomalie risultino tra loro distinguibili, risulta:

$$\Delta r > \frac{\lambda_c}{4} > \frac{v}{4f_c}$$

3

La risoluzione verticale aumenta all'aumentare della frequenza mentre è indipendente dalla profondità del riflettore.

3. INDAGINI ESEGUITE

L'acquisizione dei dati è avvenuta in data 19 e 20 Luglio 2018.

L'area di indagine, inizialmente ipotizzata essere pari a circa 12.500 m², ha subito un notevole ridimensionamento a causa della presenza di ostacoli di vario genere (arbusti, macerie, zone dissestate), come mostrato nelle immagini fotografiche in Figura 1 e Figura 2.



Figura 1. Immagini Fotografiche dell'Area di Indagine, Piazzale Sud



Figura 2. Immagini Fotografiche dell'Area di Indagine, Piazzale Nord

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Sistema I.D.S. Stream-X dotato di array da 16 antenne di frequenza 200 MHz con dipoli a polarizzazione VV, trainato da quadriciclo;
- Sistema I.D.S. Hi-Mod dotato di 2 antenne di frequenza 600-200 MHz con dipoli a polarizzazione HH, movimentato manualmente;
- Eco Doppler e GPS Differenziale Doppia Frequenza in Modalità RTK Stonex S8N+.

In Figura 3 sono mostrate alcune immagini della strumentazione utilizzata.



6

Figura 3. Immagini della Strumentazione Radar

Nei piazzali Sud e Nord l'acquisizione dei dati è stata eseguita in continuo a copertura totale delle aree accessibili, attraverso l'utilizzo del sistema Stream-X, con georeferenziazione dei dati in tempo reale.

Nella strada asfaltata di accesso al sito da Piazza della Stazione è stato utilizzato il sistema Hi-Mod. L'acquisizione è avvenuta attraverso la definizione di un sistema di riferimento locale $O(L,T)$ rispetto al quale è stata dimensionata una maglia di profili paralleli orientati lungo due direzioni ortogonali tra loro, successivamente georeferenziati con il GPS.

4. ELABORAZIONE DEI DATI E INTERPRETAZIONE

L'elaborazione dei dati radar è stata eseguita con il software Gred HD della IDS S.p.a.

La prima fase è dedicata all'elaborazione del segnale elettromagnetico, attraverso l'applicazione di filtri numerici alle singole sezioni radar (Radargrammi). È stato utilizzato un flusso composto da:

- Filtro passa banda;
- Correzione del tempo zero;
- Background removal;
- Regolazione del guadagno.

Successivamente sono state create le mappe a profondità costante (Time Slices).

L'interpretazione dei dati è focalizzata in primo luogo sull'individuazione e il picking delle iperboli di riflessione visibili nei radargrammi e nelle time slices, che siano riferibili alla presenza di reti, condotte interrate, serbatoi relitti, geometricamente regolari, allineate e a profondità più o meno costante rispetto al p.d.c.

Successivamente è stata valutata la presenza di anomalie non direttamente interpretabili con la presenza di sottoservizi, ma che possono in ogni caso rappresentare una interferenza per l'esecuzione dei lavori.

5. RISULTATI

5.1 GENERALITÀ SULLA RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati delle indagini sono mostrati nella Tavola 1 allegata alla presente relazione.

A corredo sono inoltre forniti:

- Elaborato grafico in formato digitale .dwg contenente la rappresentazione dei risultati dell'indagine GPR su base cartografica fornita dal Committente nel sistema di riferimento Gauss Boaga;
- Elaborato grafico in formato digitale .dwg contenente la rappresentazione dei risultati dell'indagine GPR nel sistema di riferimento WGS84-UTM 32N.

All'interno degli elaborati grafici sono rappresentati:

- L'inquadramento dell'area indagata attraverso la planimetria delle sezioni radar eseguite rappresentate da polilinee color ciano. Ciascuno dei singoli segmenti riportati rappresenta una sezione radar realizzata;
- I risultati del rilievo GPR costituiti da:
 - o Polilinee 3D a rappresentare anomalie allineate riferibili alla presenza di reti e condotte interrate;
 - o Poligoni 3D a rappresentare anomalie areali, estese spazialmente, nelle quali il segnale radar risulta saturo, caratterizzato da elevata densità di iperboli di riflessione e dove, pertanto, potrebbe non essere riconoscibile un singolo bersaglio, ma allo stesso tempo indicare la presenza di oggetti di dimensioni estese;
 - o Circonferenze a rappresentare anomalie puntuali riferibili alla presenza di discontinuità isolate, di piccole dimensioni;
 - o Stringhe di testo ad indicare la profondità delle anomalie rilevate e, nello specifico, la parte superiore dell'anomalia (top) rispetto al piano di campagna. In presenza di più riflessioni sulla medesima verticale è stata indicata sempre la quota dell'anomalia più superficiale.

Le anomalie individuate sono state inoltre suddivise nelle seguenti categorie:

- Bersaglio Certo, indicato con il colore rosso, a significare una anomalia chiaramente visibile nei radargrammi e nelle time slices e per la quale è stato possibile osservare lo sviluppo piano altimetrico con continuità. Per tali tipologie si ritiene affidabile la stima della posizione nei limiti dell'accuratezza strumentale (centimetrica in planimetria, $\pm 10\%$ in profondità);
- Bersaglio Incerto, indicato con il colore blu, a significare una anomalia visibile nelle time slices, ma non chiaramente visibile nei radargrammi, per la quale si ritiene incerta la detezione in termini di natura dell'anomalia (riferibile anche a una discontinuità fisica nel sottosuolo legata alle caratteristiche del materiale e non alla presenza di un oggetto sepolto) e di posizionamento piano altimetrico. In generale il bersaglio incerto è interpretato come una "possibile presenza di condotta/tubo" oppure "condotta tubo con posizione meno accurata";
- Anomalia Puntuale, indicata con il colore arancio, a significare la presenza di una riflessione chiaramente visibile che non è correlabile nello spazio con altre anomalie e che si ritiene riferibile a un oggetto sepolto di piccole dimensioni o superficiale quale, ad esempio, un pozzetto o chiusino coperto dal terreno o dall'asfalto;
- Anomalia Areale, indicata con il colore verde, a significare anomalie visibili e di estese dimensioni, all'interno delle quali non è riconoscibile la presenza di un singolo oggetto, ma che sono riferibili alla presenza di più oggetti e/o di corpi di dimensioni estese e/o di attività pregresse nel sottosuolo (scavi, rimaneggiamenti);
- Possibile Serbatoio/Cisterna, indicata con il colore arancio, a significare, tra le anomalie areali, quelle che sono ritenute più probabilmente riferibili a corpi di dimensioni estese quali serbatoi relitti e cisterne interrato.

Considerazioni sulla **Continuità dei Bersagli** rappresentati. In assenza di informazioni preliminari quali dati storici sulle reti presenti, elaborati grafici, pozzetti ispezionabili, etc., lo sviluppo piano altimetrico dei bersagli è riportato così come visibile nel segnale radar senza ulteriori interpretazioni possibili. Pertanto, attenuazioni dello stesso o disturbi possono non consentire di descrivere completamente la geometria.

Soprattutto nei casi in cui lo sviluppo dell'anomalia è chiaro, laddove la rappresentazione grafica è interrotta, non significa che l'oggetto non sia più presente.

I diametri rilevabili non sono inferiori ai 0.10 - 0.20 m.

La sola analisi radar non garantisce il 100% della detezione e non consente di valutare la tipologia di cavo/tubazione/condotta, né il suo contenuto, né lo stato di funzionamento.

Nell'interpretazione dei risultati sono state considerate tutte le anomalie visibili che potessero rappresentare una interferenza con la realizzazione dei lavori.

5.2 ILLUSTRAZIONE DEI RISULTATI

La massima profondità d'indagine raggiunta è stimabile intorno ai -2,00 m dal p.d.c.

Con riferimento alla Tavola 1 e a quanto illustrato nel precedente paragrafo, di seguito viene illustrata una sintesi dei risultati ottenuti durante l'indagine eseguita.

In particolare, la Figura 4 mostra la time slice del piazzale sud alla profondità di 0.40 m dal p.d.c.

Con le circonferenze rosse sono indicate alcune delle anomalie areali riportate anche nella Tavola 1 per le quali sono riportati due dei corrispondenti radargrammi acquisiti, mostrati nella successiva Figura 5.

Le anomalie riportate sono chiaramente visibili nelle time slice, ma meno nei radargrammi che non consentono una chiara interpretazione della stessa. L'elevata densità di dati acquisiti (1 sezione ogni 12 cm) consente però di ricostruire delle morfologie talmente regolari che appaiono verosimilmente come il risultato di una attività antropica nel terreno.

Una seconda tipologia di anomalia areale è mostrata in Figura 6.

In questo caso l'anomalia areale (C) è meno definita nella time slice, ma l'analisi dei radargrammi mostra chiaramente una netta discontinuità con il terreno circostante. Ad ogni modo, all'interno dello stesso, è possibile riconoscere differenti iperboli di riflessione.

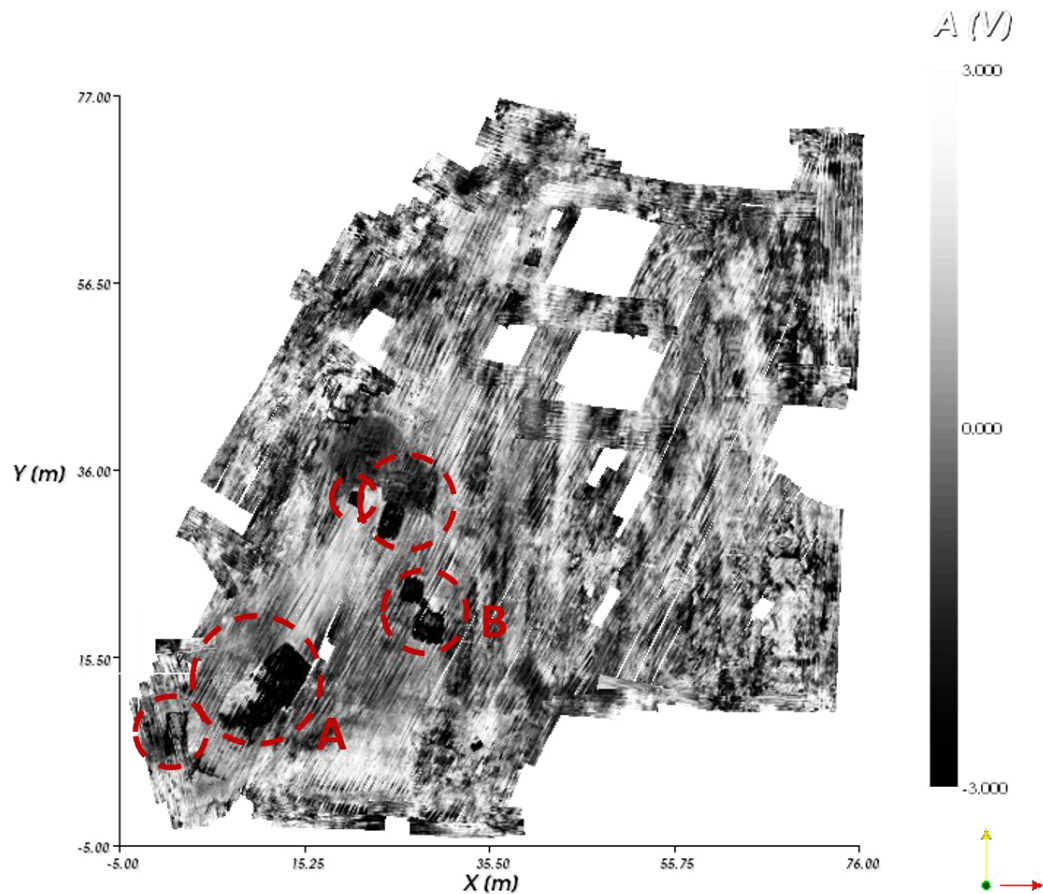
Nelle successive Figure 7 e 8 sono mostrati time slices e radargrammi corrispondenti a due anomalie chiaramente visibili, geometricamente allineate, riferibili alla presenza di tubi/condotte interrato.

Allo stesso modo la Figura 9 mostra altresì un caso in cui la risposta del segnale, visibile nella time slice, ma meno chiaramente nei radargrammi, ha suggerito l'indicazione dell'anomalia come "Bersaglio Incerto".



UTM: 462333.962m 4508595.298m 227.918m
XYZ: -3.101 m 13.638 m 2.157 m

V00 - Amplitude (Volts)
Window: 6
Level: 0



Slice: 8
Swath: 1 - Scan: 1
Array: ALL
Picked Point: 0.556 m -0.148 m -0.078 m
UTM (32N): 462337.063; 4508581.660; 225.761 m

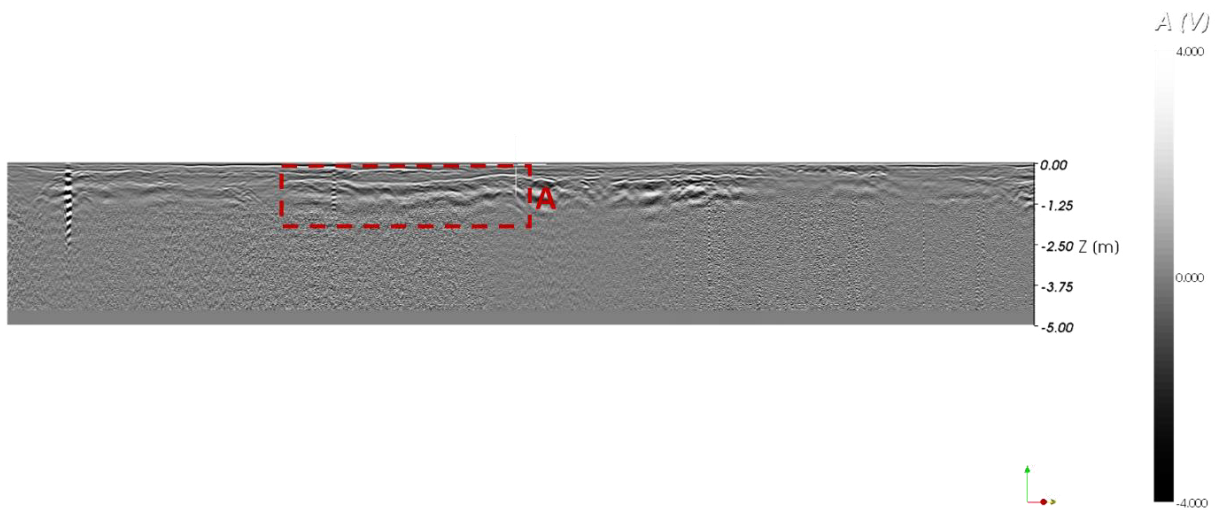
XY View

Figura 4. Time Slice del Piazzale Sud alla Profondità di 0.40 m dal p.d.c.



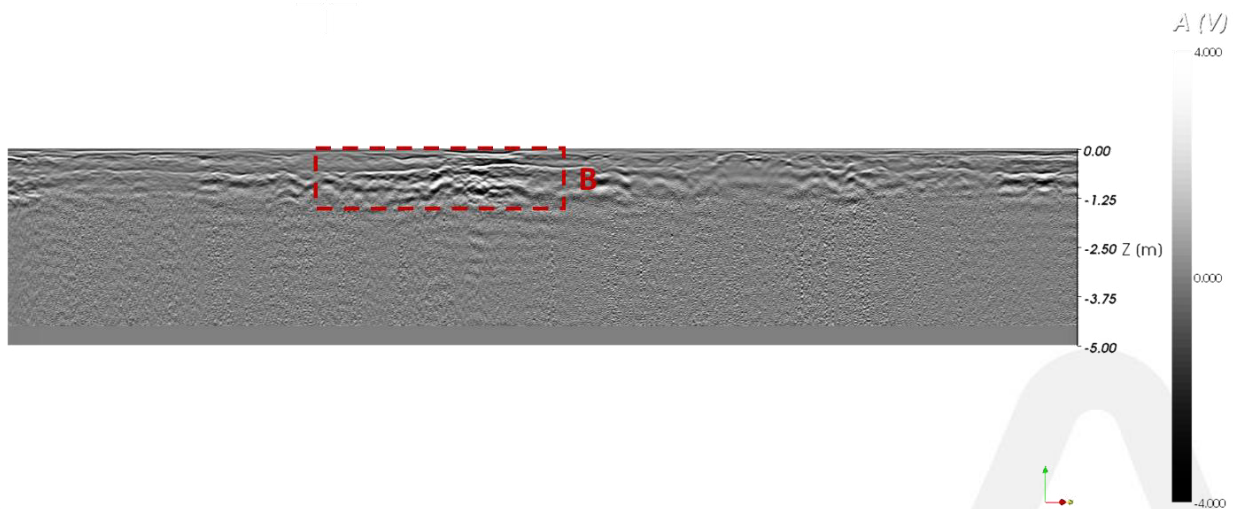
XYZ: 28.701 m; 20.030 m; -0.059 m

V00 - Amplitude (Volts)
Window: 8
Level: 0



Slice: 11
Swath: 18 - Scan: 18
Array: VV_200MHz_L
File Name: LA120018
Picked Point: 11.602 m; 12.507 m; -0.059 m
XYZ: 24.348 m; 12.201 m; 3.679 m

V00 - Amplitude (Volts)
Window: 8
Level: 0

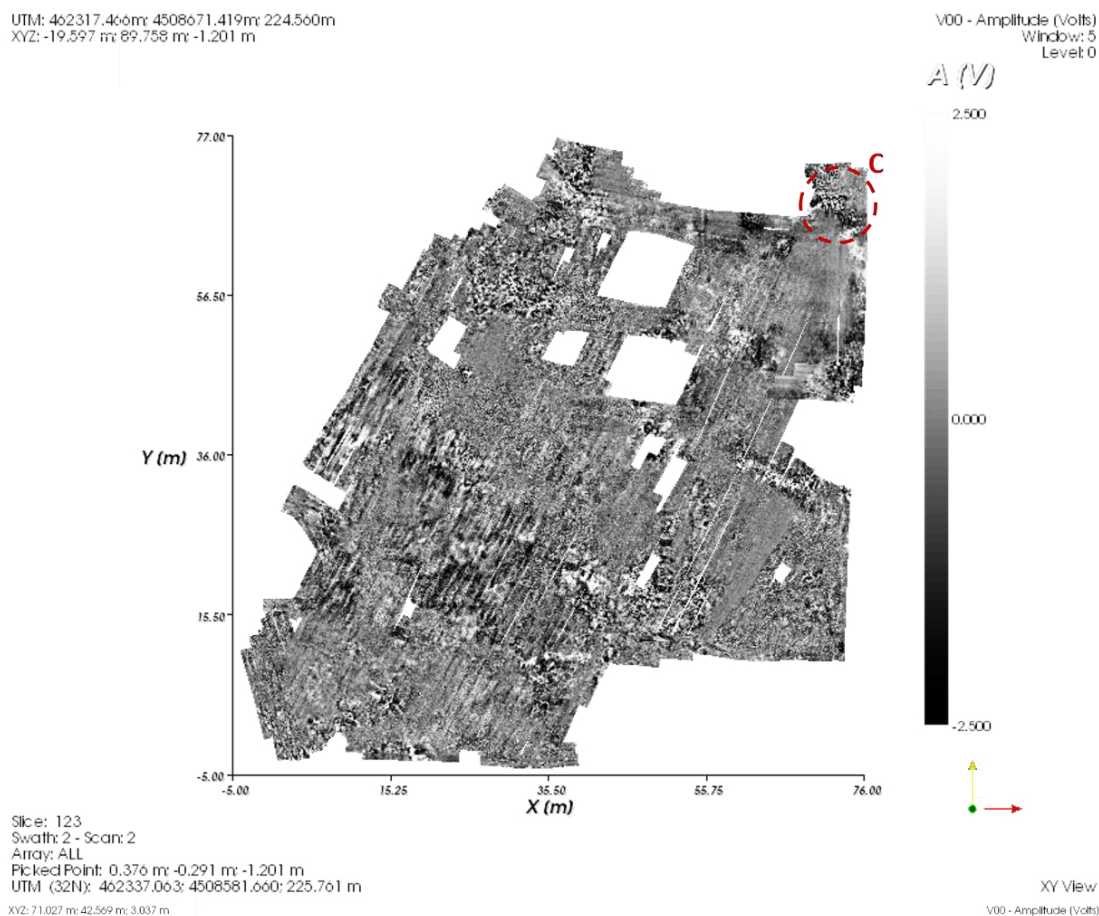


Slice: 8
Swath: 31 - Scan: 31
Array: VV_200MHz_L
File Name: LA090031
Picked Point: 28.716 m; 19.706 m; -0.059 m

Figura 5. Radargrammi in Corrispondenza delle Anomalie A e B Indicate in Figura 4



UTM: 462317.460m; 4508671.419m; 224.560m
XYZ: -19.597 m; 89.758 m; -1.201 m



14

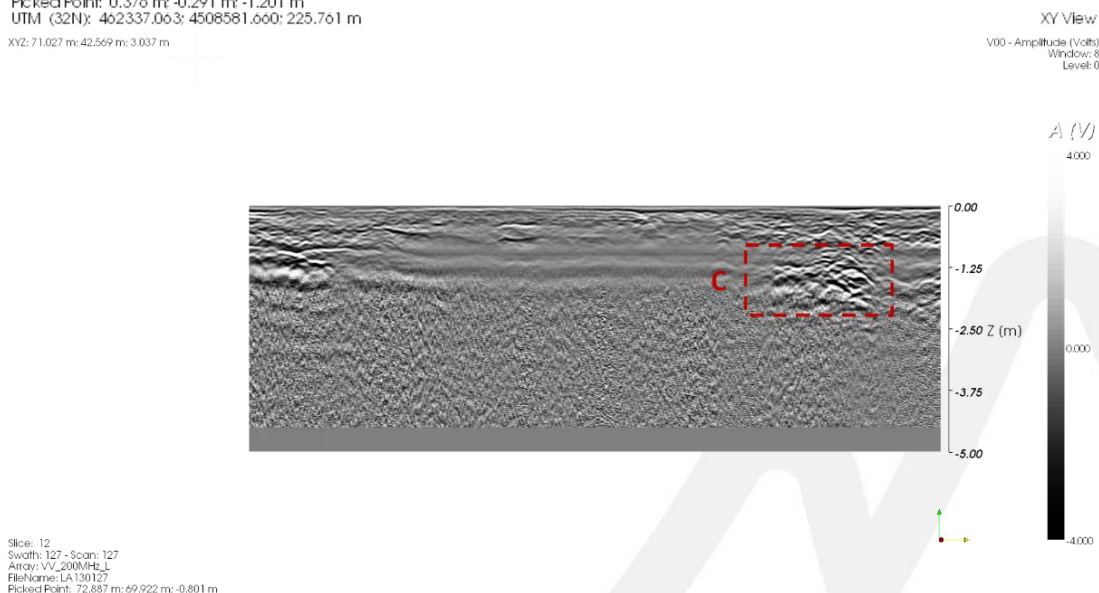


Figura 6. Time Slice del Piazzale Sud alla Profondità di 1.20 m dal p.d.c. e Radargramma in Corrispondenza dell'Anomalia C



UTM: 462337.557m; 4508581.392m; 225.019m
XYZ: 0.494 m; -0.268 m; -0.742 m

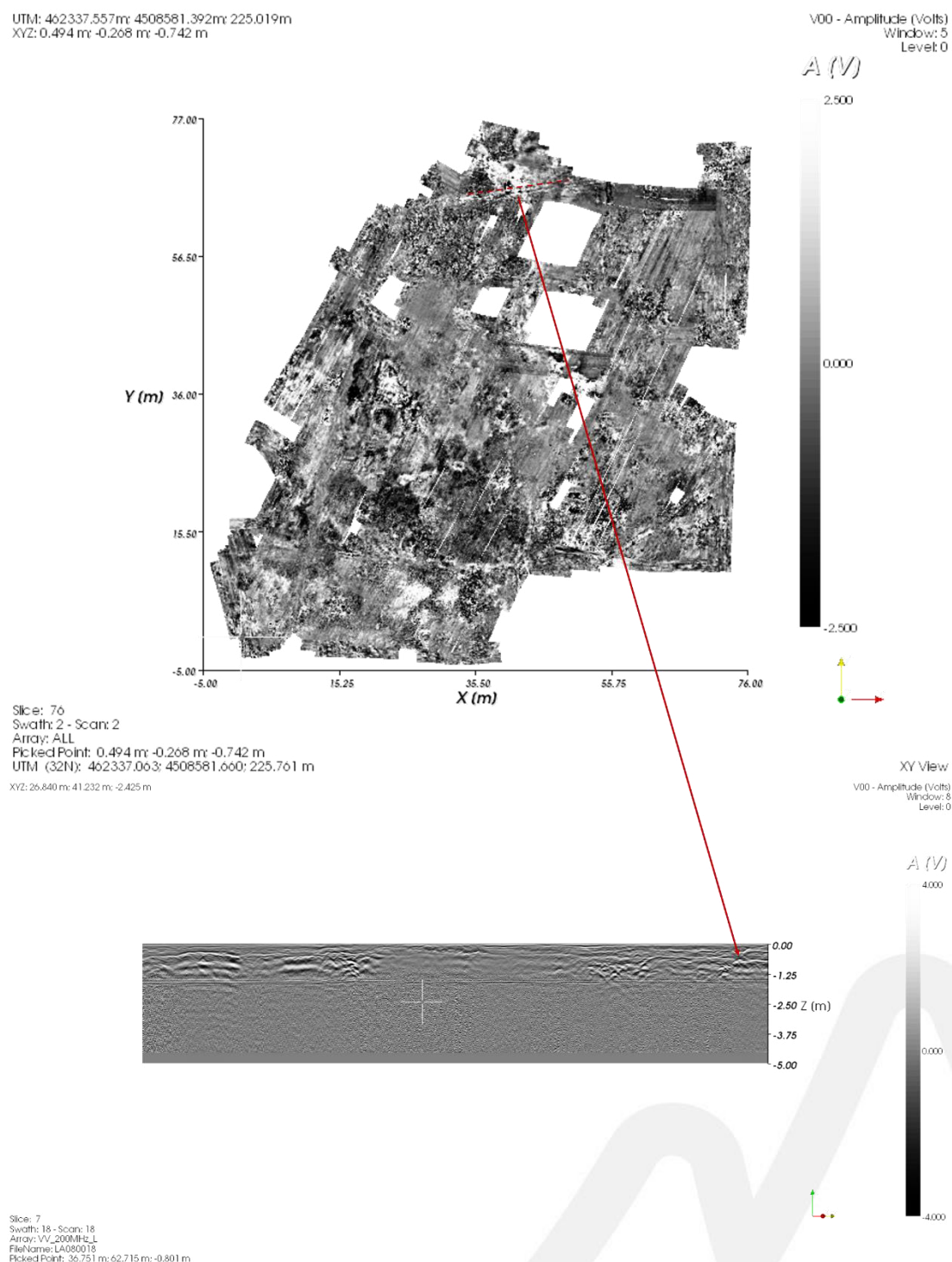


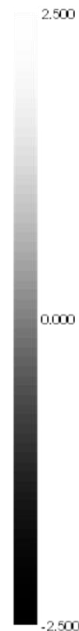
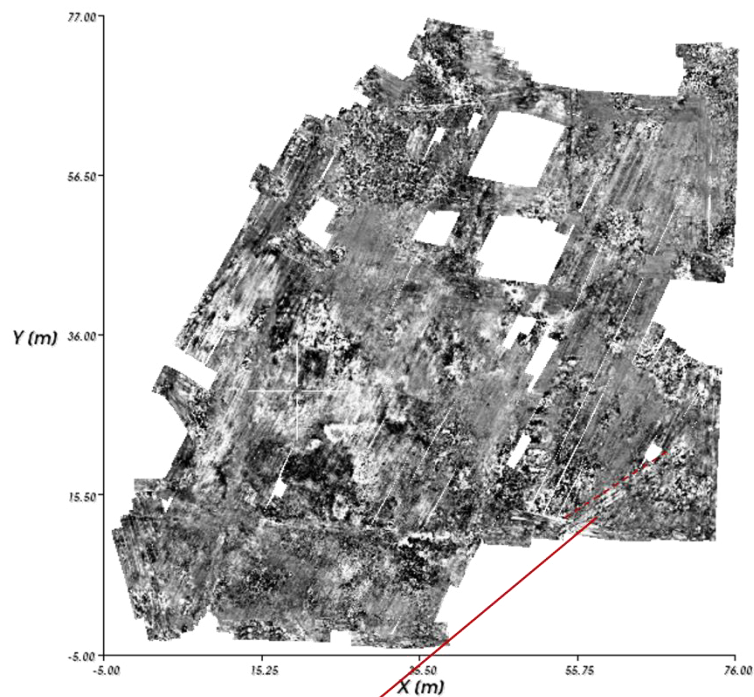
Figura 7. Time Slice del Piazzale Sud alla Profondità di 0.70 m dal p.d.c. e Radargramma in Corrispondenza dell'Anomalia Indicata



UTM: 462356.808m; 4508610.487m; 224.960m
XYZ: 19.745 m; 26.826 m; -0.801 m

V00 - Amplitude (Volts)
Window: 5
Level: 0

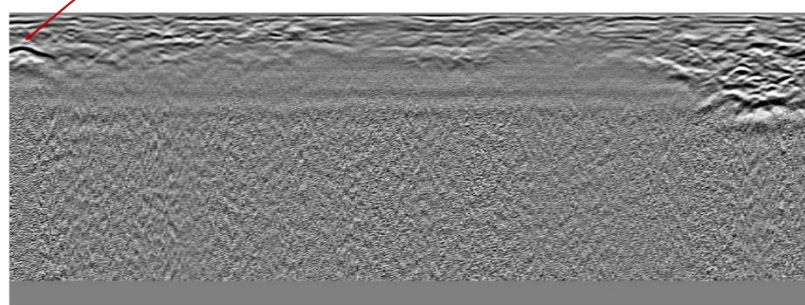
$A(V)$



Slice: 82
Swath: 2 - Scan: 2
Array: ALL
Picked Point: 0.494 m; -0.268 m; -0.801 m
UTM (32N): 462337.063; 4508581.000; 225.761 m
XYZ: 54.245 m; 9.305 m; 0.840 m



XY View
V00 - Amplitude (Volts)
Window: 8
Level: 0



Slice: 4
Swath: 61 - Scan: 61
Array: VV_200MHz_L
FileName: LA050051
Picked Point: 64.218 m; 26.095 m; -0.801 m



Figura 8. Time Slice del Piazzale Sud alla Profondità di 0.80 m dal p.d.c. e Radargramma in Corrispondenza dell'Anomalia Indicata



UTM: 462402.385m 4508629.319m 225.458m
XYZ: 65.321 m 47.658 m -0.303 m

V00 - Amplitude (Volts)
Window: 5
Level: 0

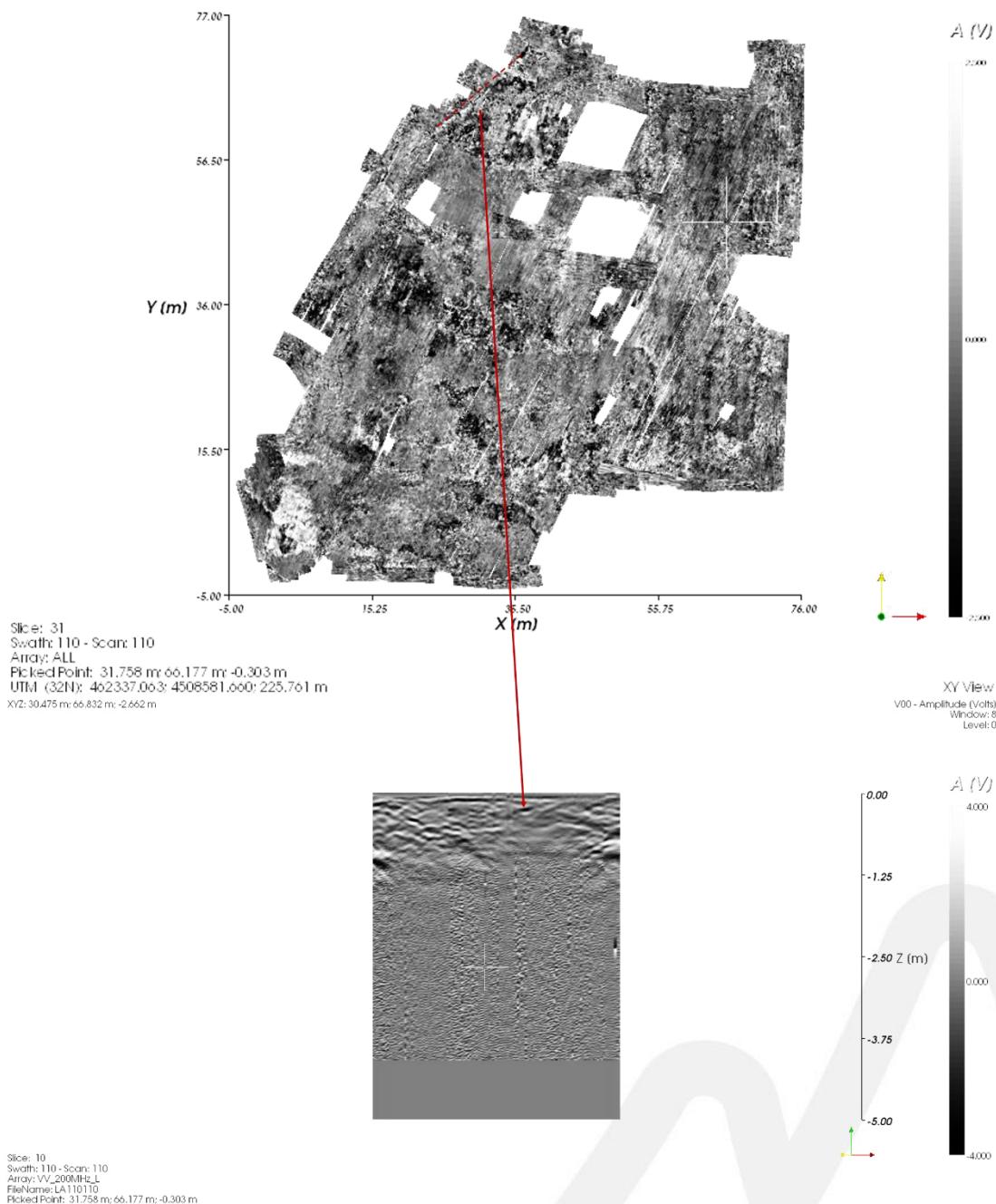


Figura 9. Time Slice del Piazzale Sud alla Profondità di 0.30 m dal p.d.c. e Radargramma in Corrispondenza dell'Anomalia Indicata

I risultati delle indagini pregresse svolte nel sito nel 2016 al fine di verificare la sicurezza delle postazioni di sondaggio, sono stati confrontanti con quelli attuali.

La maggiore copertura areale dell'indagine svolta rispetto alla precedente ha consentito di effettuare una analisi a più ampio raggio che ha permesso di confermare alcuni bersagli indicati, totalmente o parzialmente, ma anche di escludere alcuni falsi positivi.

In relazione alla presenza di potenziali ordigni bellici interrati entro 1.50-2.00 m di profondità dal p.d.c., la complessità dell'area e della risposta del metodo dovuta alla presenza di estesi rimaneggiamenti e pregresse attività nel sottosuolo, non ha permesso la valutazione di anomalie puntuali riferibili ad oggetti metallici di piccole dimensioni. Le anomalie radar isolate identificate e riconducibili a probabili oggetti metallici, sono prevalentemente localizzate nei pressi di anomalie areali estese, potenzialmente riferibili a relitti di strutture fondazionali e pertanto più probabilmente dovute a elementi metallici legati agli ex fabbricati.

18

Cagliari, 12.08.2018

Henge S.r.l. Heritage Engineering Geophysics

HENGE s.r.l.

Heritage Engineering Geophysics

Via Marengo, 2 - 09123 Cagliari

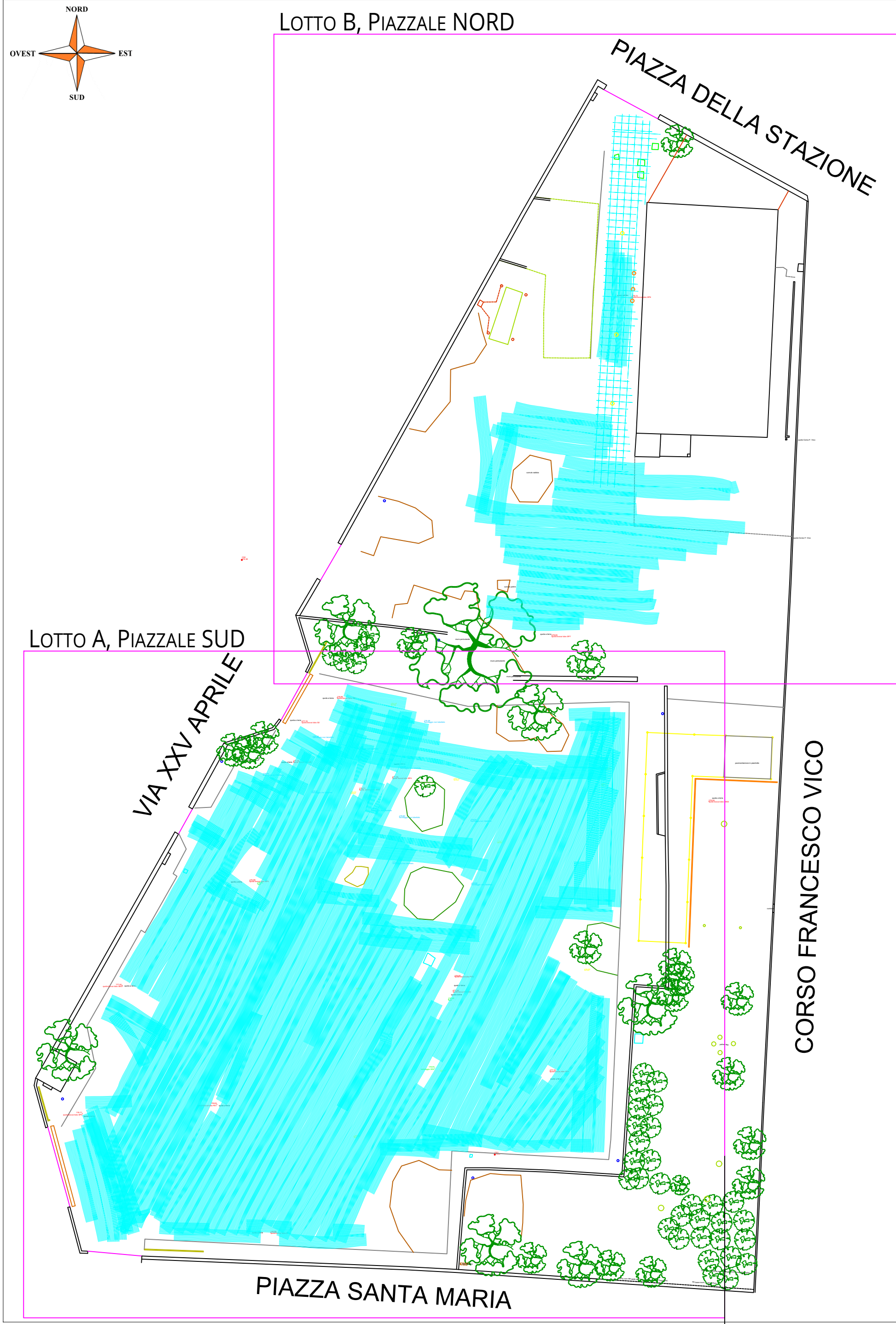
C.F. P.IVA 03670840929



I Tecnici

Dott. Geol. Antonio Trogu

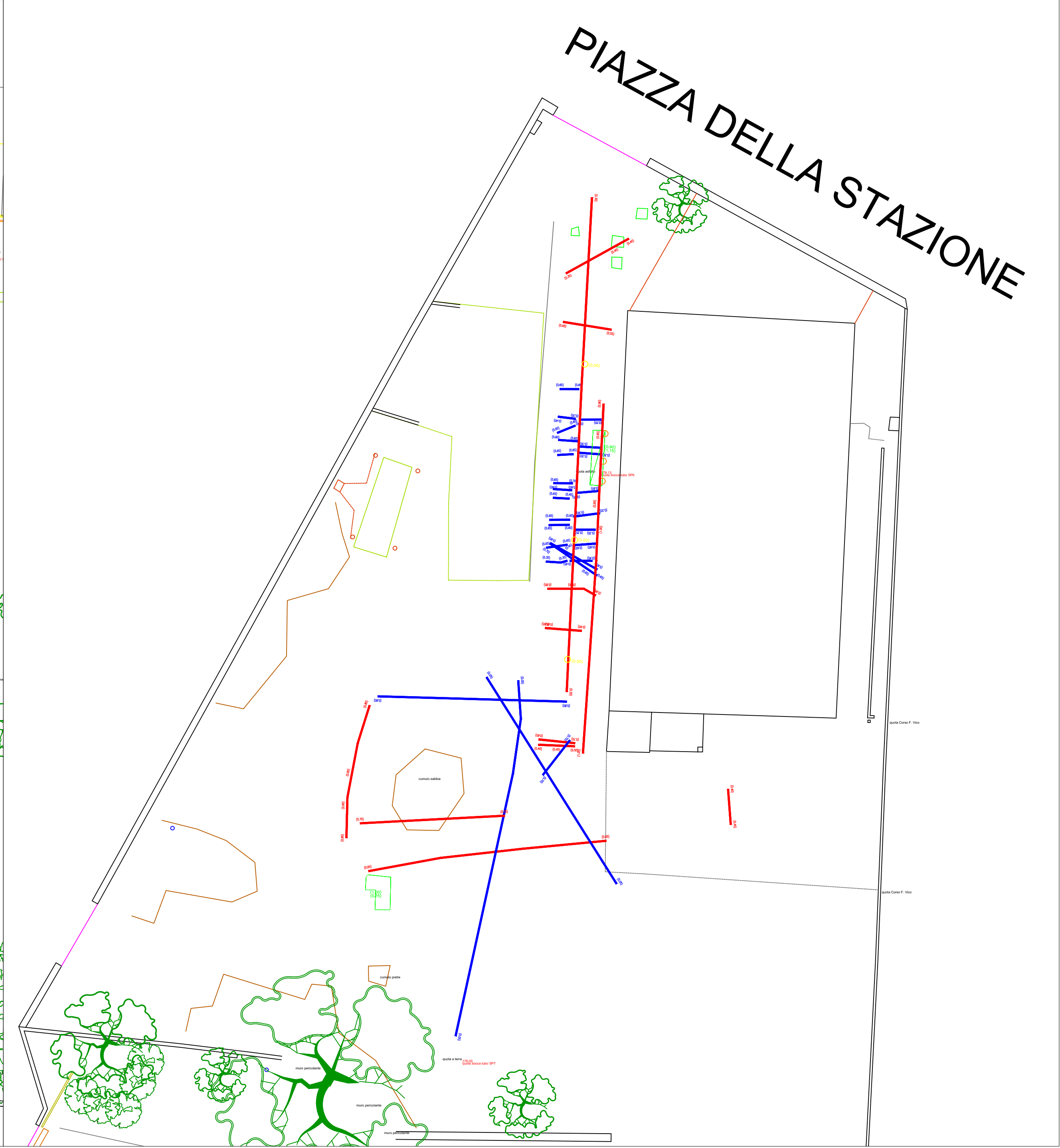
Ing. Francesco Loddo



PLANIMETRIA DELLE SEZIONI RADAR - SCALA 1:500



PLANIMETRIA DELLE SEZIONI RADAR, LOTTO A, PIAZZALE SUD - SCALA 1:250



PLANIMETRIA DELLE SEZIONI RADAR, LOTTO B, PIAZZALE NORD - SCALA 1:250

LEGENDA

SEZIONE RADAR

BERSAGLIO CERTO

BERSAGLIO INCERTO

ANOMALIA PUNTUALE

ANOMALIA AREALE

POSSIBILE SERBATOIO/CISTERNA

PROFONDITA' BERSAGLIO (TOP)

CENTRO INTERMODALE
COMUNE DI SASSARI (SS)

INDAGINI GPR PER
L'INDIVIDUAZIONE E LA MAPPATURA
DELLE INTERFERENZE

COMMITTENTE


HPC Italia S.r.l.
Via Francesco Ferrucci 17/A, 20145 Milano
P.I. 02669180123



Henge S.r.l. Heritage Engineering Geophysics

Via Marengo 2, 09123 Cagliari
tel. 070 7967812
www.hengesrl.com
info@hengesrl.com - postacertificata@hengesrl.com

HERITAGE ENGINEERING GEOPHYSICS

Via Marengo, 2 - 09123 Cagliari
C.F. P.IVA 03670840929
info@hengesrl.com - postacertificata@hengesrl.com

Tavola:
1

Elaborati:
RISULTATI INDAGINE GPR

Scala:
VARIE

Data
AGOSTO 2018

Rev. N. del