



COMUNE DI LUCCA (LU)



Indagine georadar per la realizzazione di nuovo parcheggio
interrato presso piazza Martiri della Libertà

Comm.te:
Amm. Comunale di Lucca

Luglio 2025

Mappo Geognostica Srl

Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



1 - PREMESSA	2
2 - TEORIA GENERALE	2
3 - INDAGINE REALIZZATA	5
3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
3.2 AREA INVESTIGATA	6
3.3 PREPARAZIONE DEL SITO.....	7
3.4 SPECIFICHE ACQUISIZIONE.....	7
3.5 ELABORAZIONE DEI DATI.....	7
4 – RISULTATI	8
4.1 <i>Anomalie visibili sui radargrammi.....</i>	<i>8</i>
4.1.1 Swaths griglia PP1	9
4.1.2 Swaths griglia PP4	1
4.1.3 Swaths griglia PP5	1
4.1.4 Swaths griglia PP6	1
4.1.5 Swaths griglia PP10	1
4.1.6 Swaths griglia PP11	1
4.1.7 Swaths griglia PP12	1
4.1.8 Swaths griglia PP13	1
4.1.9 Swaths griglia PP14 e PP15.....	1
4.1.10 Swaths griglia S1.....	1
4.1.11 Swaths griglia S2.....	2
4.1.12 Swaths griglia S4*	4
4.1.13 Swaths griglia S6/a*	5
4.1.14 Swaths griglia S6/b*	7
5 – CONCLUSIONI.....	8
ALLEGATI	9



1 - PREMESSA

Il presente lavoro ha avuto lo scopo di verificare eventuali anomalie presenti al di sotto di Piazza dei Martiri della Libertà nel comune di Lucca.

L'indagine georadar è stata realizzata a seguito della richiesta da parte della committenza di verificare ed individuare l'eventuale presenza di alcuni sottoservizi.

L'ubicazione dell'area di acquisizione è visualizzabile nella COROGRAFIA GENERALE in scala 1: 10000 riportata in allegato.

2 - TEORIA GENERALE

La **tecnica GPR** (Ground Penetrating Radar o georadar) è una metodologia geofisica attiva non invasiva che permette di investigare il sottosuolo analizzando le onde elettromagnetiche e la loro interazione con le strutture sepolte.

Il georadar invia segnali di radiofrequenza compresa tra 25 MHz e 3.0 GHz attraverso un'antenna trasmittente (Tx) posizionata sulla superficie, tali segnali vengono in seguito recepiti da un'antenna ricevente (Rx). Il sistema riceve le onde riflesse, e i dati vengono elaborati per creare delle immagini che potranno essere post processate e interpretate per realizzare dei modelli del sottosuolo.

Mappo Geognostica

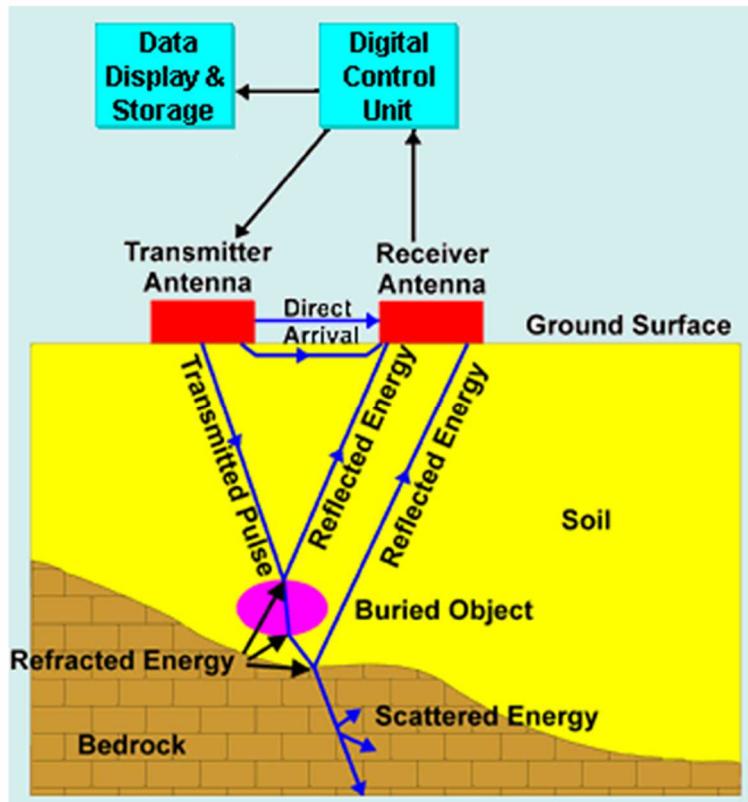


Figura 1: Principio di funzionamento GPR

Le proprietà elettromagnetiche del sottosuolo sono legate alla composizione chimica e al contenuto di acqua, entrambi controllano la velocità di propagazione delle onde radio e la loro attenuazione nei materiali intercettati. Al variare delle caratteristiche del mezzo varia la velocità ed in corrispondenza delle superfici o discontinuità dove la costante dielettrica del materiale attraversato cambia, una porzione dell'energia del segnale è riflessa verso la superficie e registrata dall'antenna ricevente, maggiore è il contrasto tra mezzi attraversati più grande è la quantità di energia riflessa verso la superficie.

La misura della profondità delle anomalie riscontrate, dove si genera la riflessione è valutata in funzione della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo considerato e del tempo di andata e ritorno del segnale.



Mappo Geognostica

Poiché solo una parte dell'energia incidente su una discontinuità è riflessa, mentre la porzione rimanente viene trasmessa, gli impulsi radar consentono di mettere in evidenza anche orizzonti più profondi del primo, da ciascuno dei quali può essere riflessa una quantità di energia sufficiente per dare segnali, e quindi tempi di arrivo successivi al primo, suscettibili di letture ed interpretazioni.

La profondità massima di investigazione delle onde dipende in gran parte dalla frequenza delle antenne, ma anche: dalla potenza delle onde emesse, dalle caratteristiche del mezzo investigato e dalla sensibilità del ricevitore.

Per poter investigare profondità elevate (2-6m circa) si preferisce l'utilizzo di antenne a bassa frequenza di emissione (200 MHz), a discapito di una peggior risoluzione; viceversa con l'utilizzo di antenne ad alta frequenza (600-900 MHz) è possibile investigare una profondità minore (1.5-2.0 m circa) ma con una risoluzione maggiore.

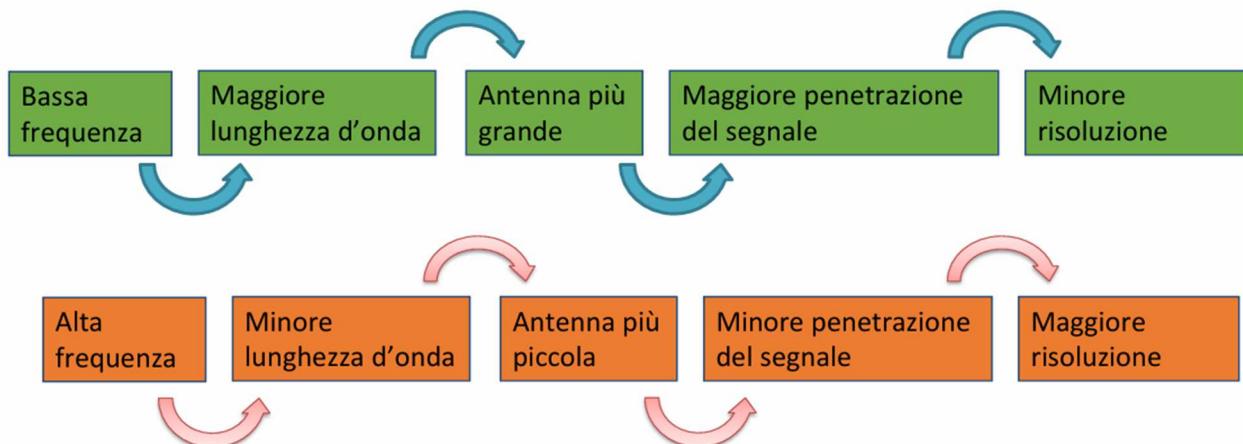


Figura 2: Schema frequenza-risoluzione

La relazione che lega la velocità e la costante dielettrica è la seguente:

$$\text{Velocità mezzo} = c / \sqrt{\epsilon_r}$$

dove c è la velocità della luce nel vuoto (300.000 km/s) e ϵ_r la costante dielettrica relativa del mezzo attraversato.

Di seguito sono riportati i valori indicativi delle costanti dielettriche di alcuni materiali ed i relativi valori di velocità delle onde elettromagnetiche.



Materiale	ϵ_r	v [cm/ns]
Aria	1	30
Acqua comune	81	3
Sabbia asciutta	3 - 5	13 - 17
Sabbia satura	20 - 30	5 - 8
Terreno comune	9 - 14	8 - 10
Calcestruzzo generico	6	12 - 13

Figura 3: Costanti dielettriche materiali con velocità

L'output dell'indagine georadar è definito "radargramma" e mette in correlazione la profondità delle riflessioni rispetto alla distanza percorsa sul terreno.

3 - INDAGINE REALIZZATA

3.1 Strumentazione utilizzata

L'indagine è stata svolta con strumentazione IDS Chaser X, con doppia antenna a 200 e 900 MHz; Chaser XR è una soluzione GPR compatta e leggera, progettata per garantire la massima portabilità e facilità d'uso, con dimensioni ridotte di 41x41x19 cm e un peso minimo di soli 4,8 kg.

Questo dispositivo ad alto rendimento copre le prestazioni abituali di più sistemi con un'unica soluzione che offre la massima flessibilità alle indagini in diversi scenari applicativi: dalla valutazione ambientale alle indagini archeologiche, alle strutture artificiali, al ghiaccio e alla neve.

Con una gamma di ispezione estesa (80MHz-1500MHz), Chaser XR combina le capacità di più sistemi in un'unica soluzione GPR versatile ed economica, per eseguire con successo la profilatura del sottosuolo in una gamma più ampia di scenari di rilievo.

Grazie alla nuova tecnologia EsT – Equalized scrambled technology, il sistema CHASER XR riesce a offrire una definizione e detezione dei target ad una profondità maggiore, cancellando i segnali di rumore di fondo e sfruttando l'intera dinamica di frequenza delle nuove antenne.

Il case di Chaser XR è concepito per consentire l'utilizzo dell'antenna sia con polarizzazione tradizionale delle antenne (HH), sia per l'utilizzo in polarizzazione VV, in modo da adattarsi a qualsiasi indagine.

*Relazione geofisica relativa alla mappatura del sottosuolo mediante indagine georadar
Piazza dei Martiri della Libertà, Lucca (LU) – Richiedente: COMUNE DI LUCCA*



CARATTERISTICHE TECNICHE:

Numero canali	2 con tecnologia EsT
Polarizzazione	HH o VV, scelta dall'utente
Dimensioni	41X41X19 cm
Peso totale	4,8 Kg
Computer raccomandato	Panasonic FZ-G2
Velocità massima	14 Km/h
Consumo	16 W (durante l'acquisizione)
Georeferenziazione	Encoder integrato con PPS, GPS, Stazione totale
Alimentazione	Batterie interne, esterna 12 V con possibilità di "hot swap"
Resistenza all'acqua	IP65

3.2 Area investigata

Sono state investigate n. 20 aree in corrispondenza di Piazza dei Martiri della Libertà, nel comune di Lucca, localizzate come di seguito:

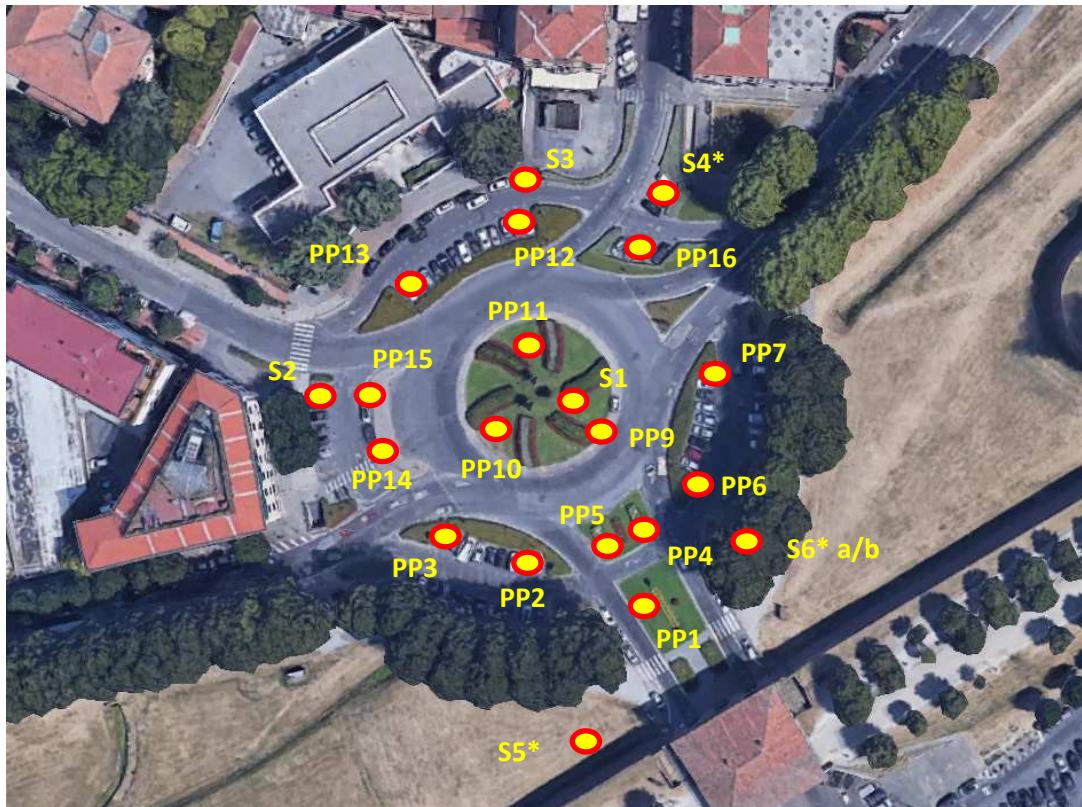


Figura 4: Ubicazione aree di indagine

*Relazione geofisica relativa alla mappatura del sottosuolo mediante indagine georadar
Piazza dei Martiri della Libertà, Lucca (LU) – Richiedente: COMUNE DI LUCCA*



3.3 Preparazione del sito

Per le aree indagate sono state predisposte delle griglie di acquisizione con dimensioni variabili a seconda dello spazio disponibile. Sia le acquisizioni longitudinali che quelle trasversali sono state effettuate con un interasse di circa 0,50 m.

L'ubicazione delle varie swaths (acquisizioni) è riportata in allegato.

3.4 Specifiche acquisizione

I dati sono stati acquisiti con le seguenti impostazioni:

- Passo acquisizione = 0.0400 m
- Tempo di acquisizione = 0.125 ns
- Frequenza= 200 e 900 MHz
- Polarizzazione = orizzontale



Figura 5: acquisizione in situ

3.5 Elaborazione dei dati

I radargrammi acquisiti in situ sono stati esportati e post processati mediante il software IQMaps, con l'esecuzione di analisi 3D (tomografia elettromagnetica) e 2D (radargrammi singoli).



L'elaborazione dei dati è stata eseguita in più fasi:

- Sono state edite le traiettorie di acquisizione, per correggere eventuali direzioni non allineate rispetto al punto di riferimento.
- Sono stati applicati i filtri di processing tra i quali: Time-domain, Start time Shifter, Background removal, STC Smoothed Gain e Air Waves Removal (i filtri sono serviti ad intensificare la risposta del segnale acquisito, quindi a migliorare il rapporto segnale/rumore e aumentare l'ampiezza del segnale relativo agli arrivi tardivi, attenuati a causa delle proprietà dei materiali).
- Sono stati analizzate le tomografie EM e i singoli radargrammi per il picking dei vari target riscontrati.

4 – RISULTATI

Per l'area indagata sono state realizzate linee di acquisizione disposte secondo maglie rettangolari (con passo di circa 0.50 m sia longitudinalmente che trasversalmente) di dimensioni variabili.

Sono state individuate diverse anomalie superficiali riconducibili a sottoservizi o strutture lineari e puntuali interrate su tutta l'area di indagine

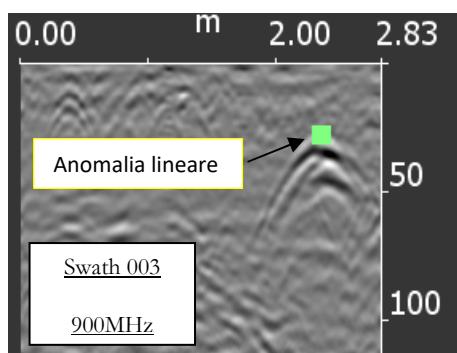
Molte delle anomalie sono state segnalate anche durante l'acquisizione in campo, mentre altre sono state visualizzate solamente in attività di elaborazione in post acquisizione.

4.1 Anomalie visibili sui radargrammi

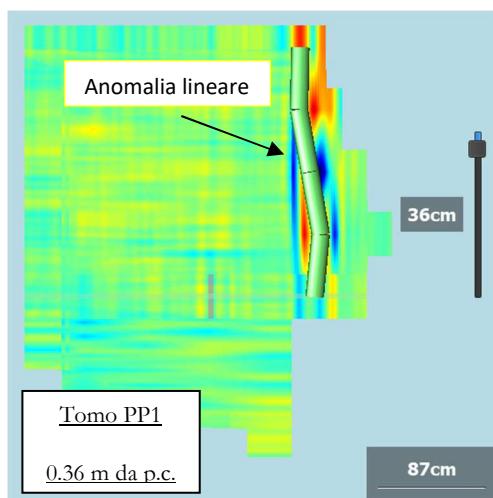
L'ubicazione planimetrica delle varie griglie viene riportata in allegato.



4.1.1 Swaths griglia PP1

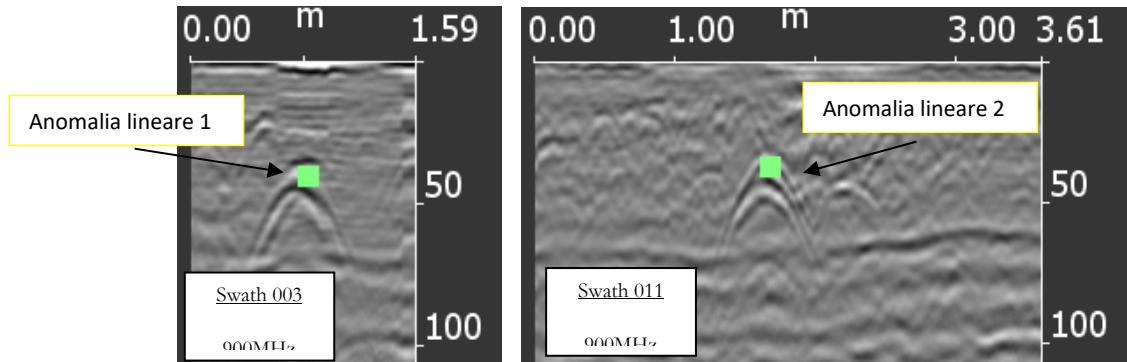


Tomografie:

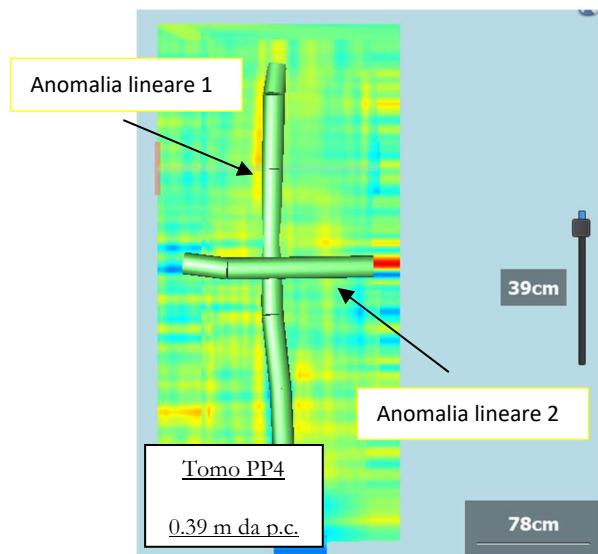


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie. In particolare, l'anomalia lineare evidenziata nelle swaths e nella tomografia precedentemente riportate si riscontra da una profondità di circa 0.30 m dal p.c. ed è riconducibile ad un sottoservizio o ad una struttura lineare interrata.

4.1.2 Swaths griglia PP4



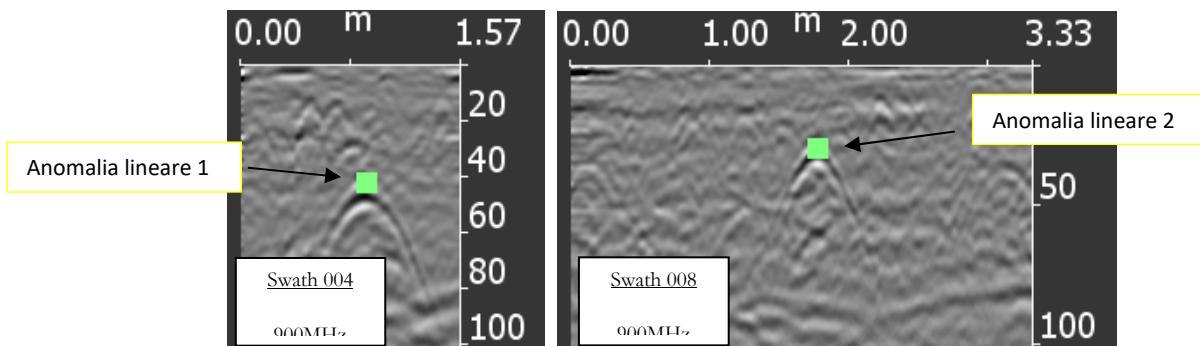
Tomografie:



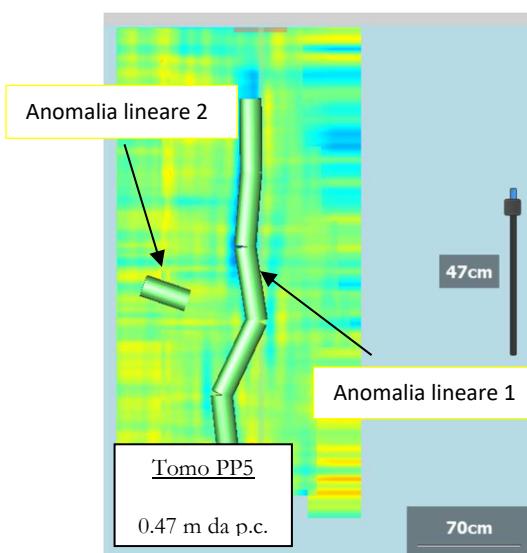
L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

In particolare, si riscontrano due anomalie lineari distinte come evidenziato nella tomografia alla profondità di 0.40 m da p.c. circa; entrambe le anomalie sono probabilmente riconducibili a dei sottoservizi.

4.1.3 Swaths griglia PP5



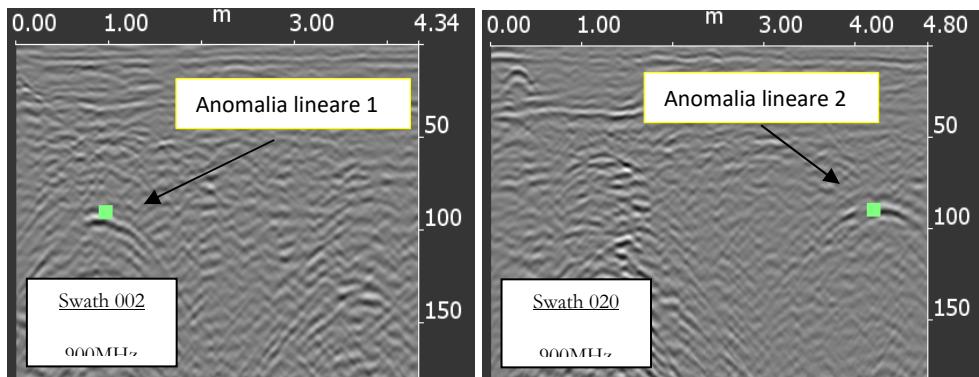
Tomografie:



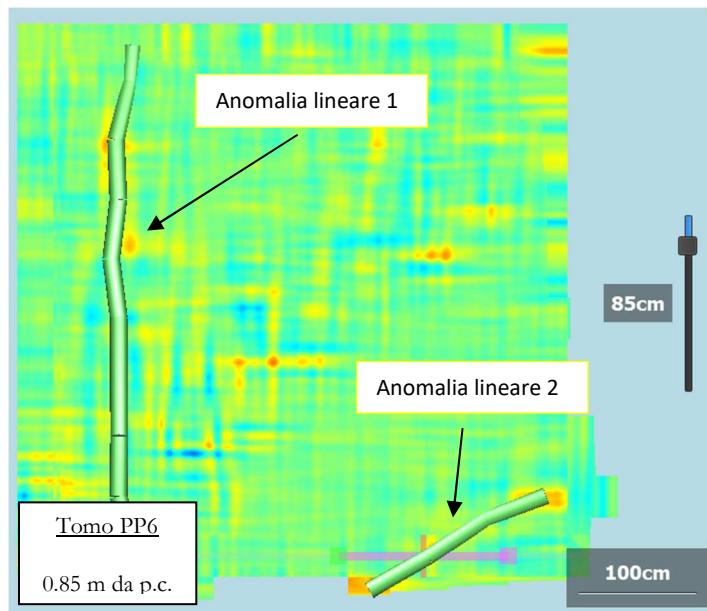
L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

In particolare, si riscontrano due anomalie lineari distinte così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 0.47 m da p.c. circa; entrambe le anomalie sono probabilmente riconducibili a dei sottoservizi oppure a strutture lineari interrate nel primo metro di profondità.

4.1.4 Swaths griglia PP6



Tomografie:

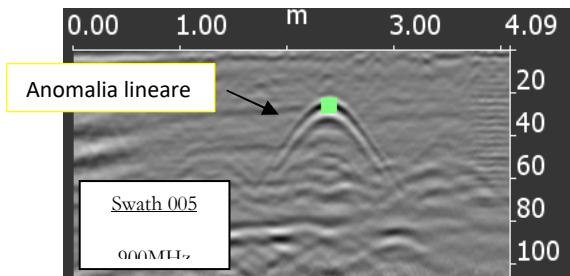


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

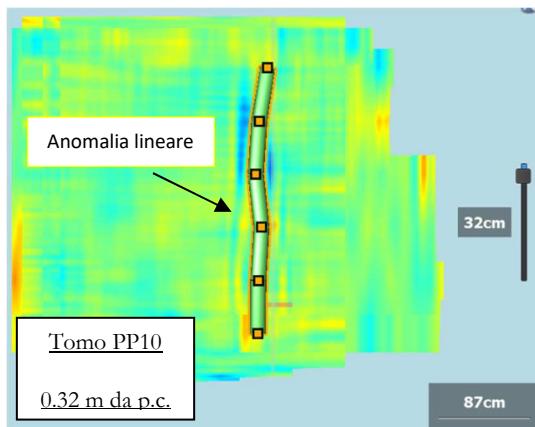
In particolare, si riscontrano due anomalie lineari distinte così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 0.85 m da p.c. circa; entrambe le anomalie sono probabilmente riconducibili a dei sottoservizi oppure a strutture lineari interrate nel primo metro di profondità.



4.1.5 Swaths griglia PP10



Tomografie:

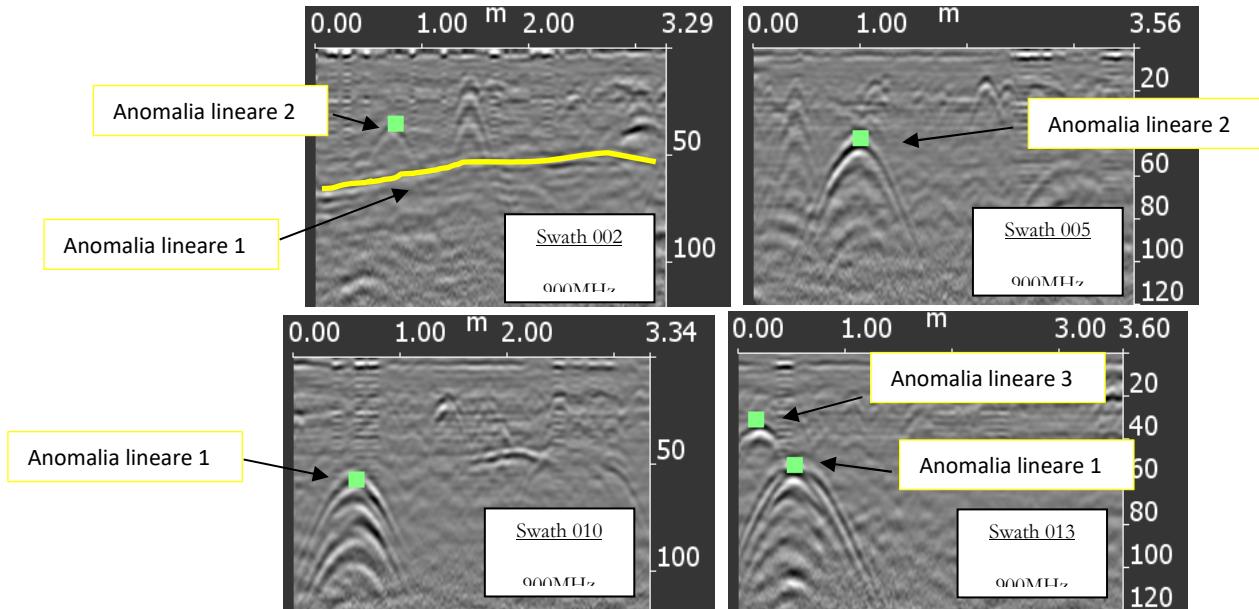


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

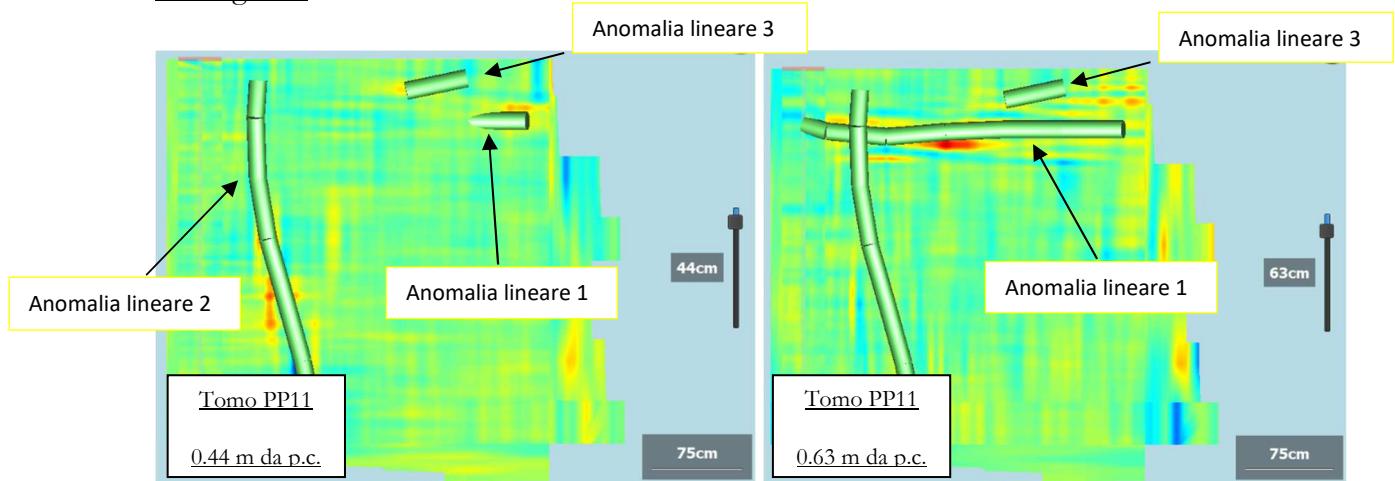
In particolare, si riscontra una sola anomalia lineare così come illustrato nella tomografia alla profondità di 0.30 m da p.c. circa che è probabilmente riconducibile ad un sottoservizio abbastanza superficiale.

Mappo Geognostica

4.1.6 Swaths griglia PP11



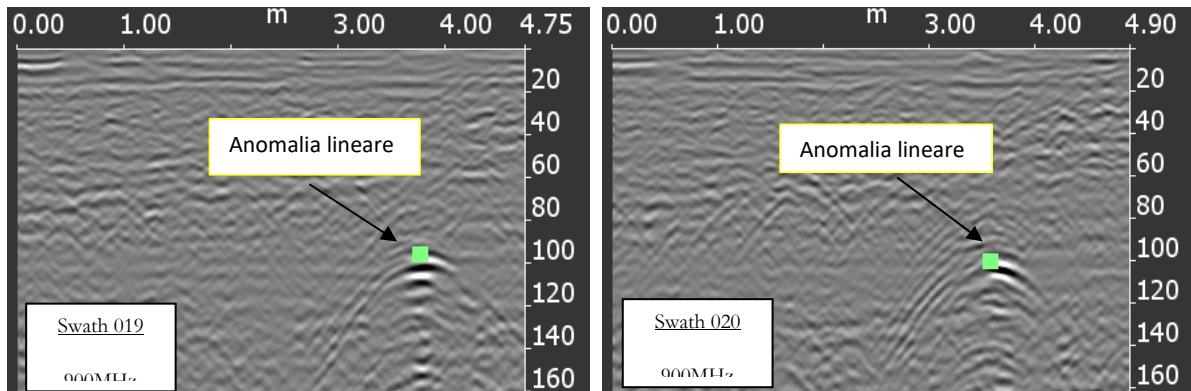
Tomografie:



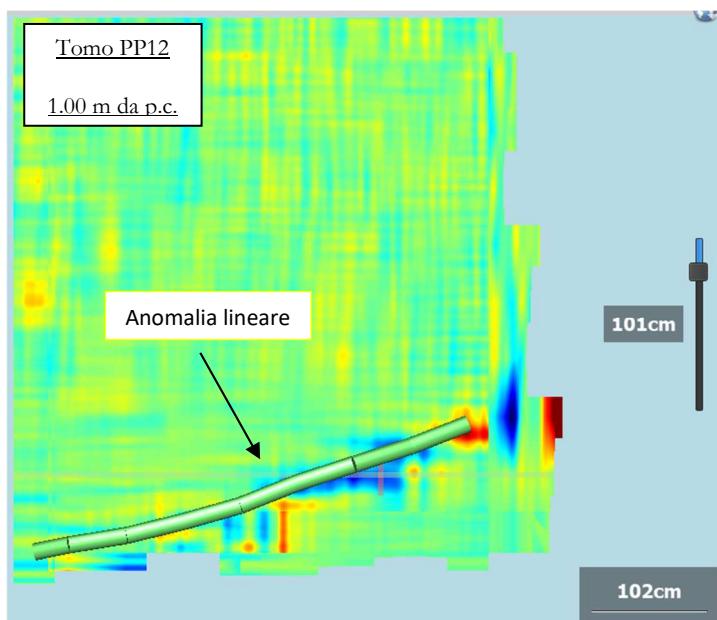
L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

In particolare, si riscontrano tre anomalie lineari distinte così come evidenziato nelle tomografie alla profondità di 0.44 e 0.63 m da p.c. circa; tutte e tre le anomalie sono probabilmente riconducibili a dei sottoservizi nel primo metro di profondità.

4.1.7 Swaths griglia PP12



Tomografie:

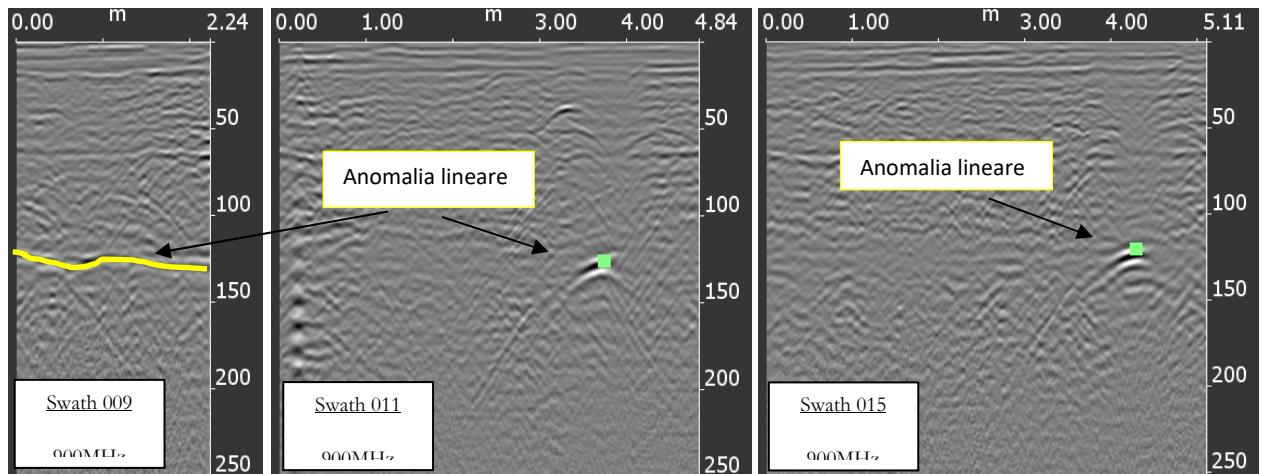


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

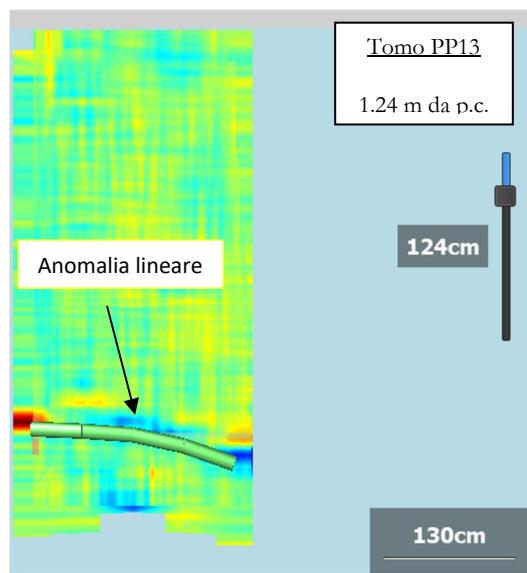
In particolare, è stata riscontrata un'unica anomalia lineare così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 1.00 m da p.c. circa probabilmente riconducibile ad un sottoservizio.



4.1.8 Swaths griglia PP13



Tomografie:

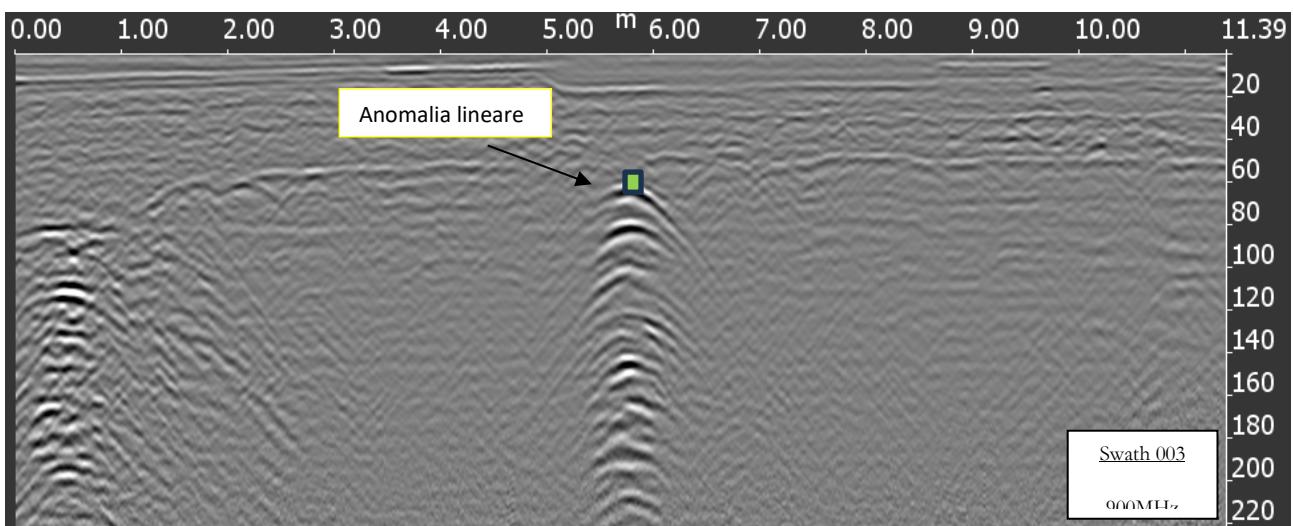
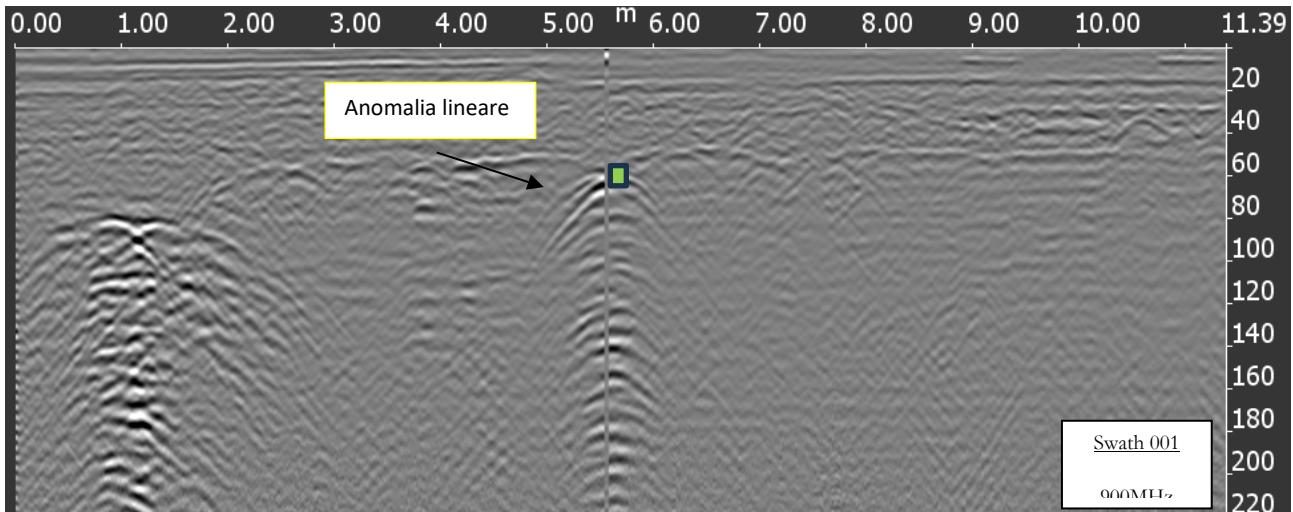


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

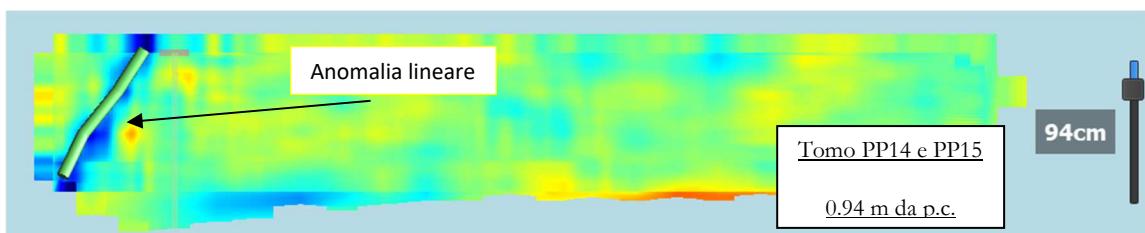
In particolare, è stata individuata una sola anomalia lineare così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 1.20 m da p.c. circa probabilmente riconducibile ad un sottoservizio.



4.1.9 Swaths griglia PP14 e PP15



Tomografie:



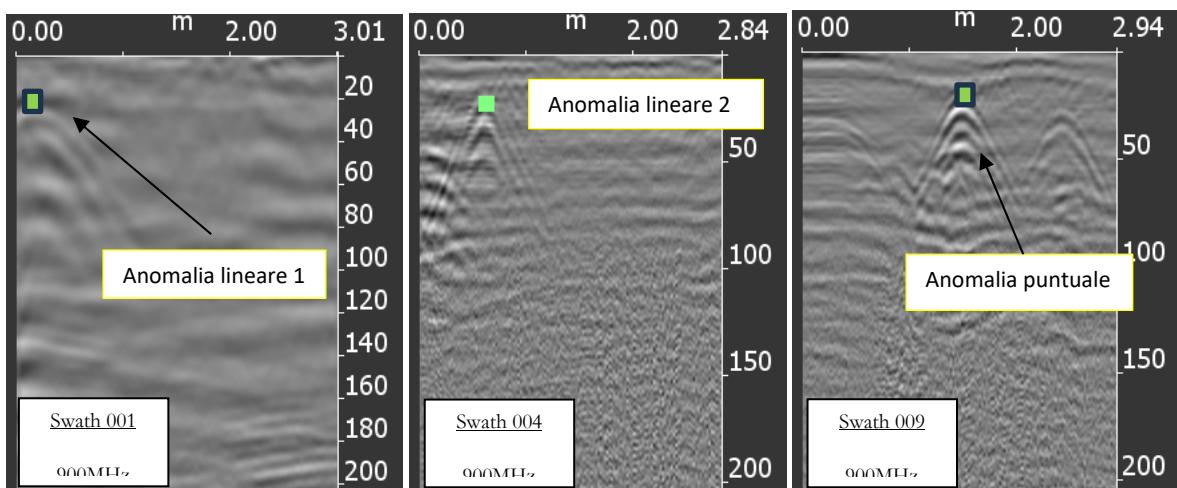
L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

*Relazione geofisica relativa alla mappatura del sottosuolo mediante indagine georadar
Piazza dei Martiri della Libertà, Lucca (LU) – Richiedente: COMUNE DI LUCCA*

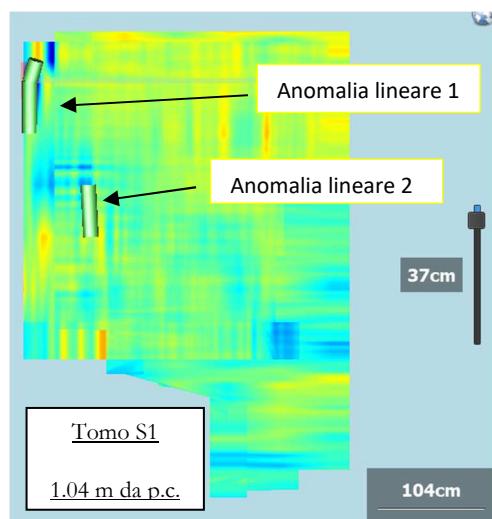


In particolare, è stata individuata una sola anomalia lineare così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 0.94 m da p.c. circa probabilmente riconducibile ad un sottoservizio.

4.1.10 Swaths griglia S1



Tomografie:

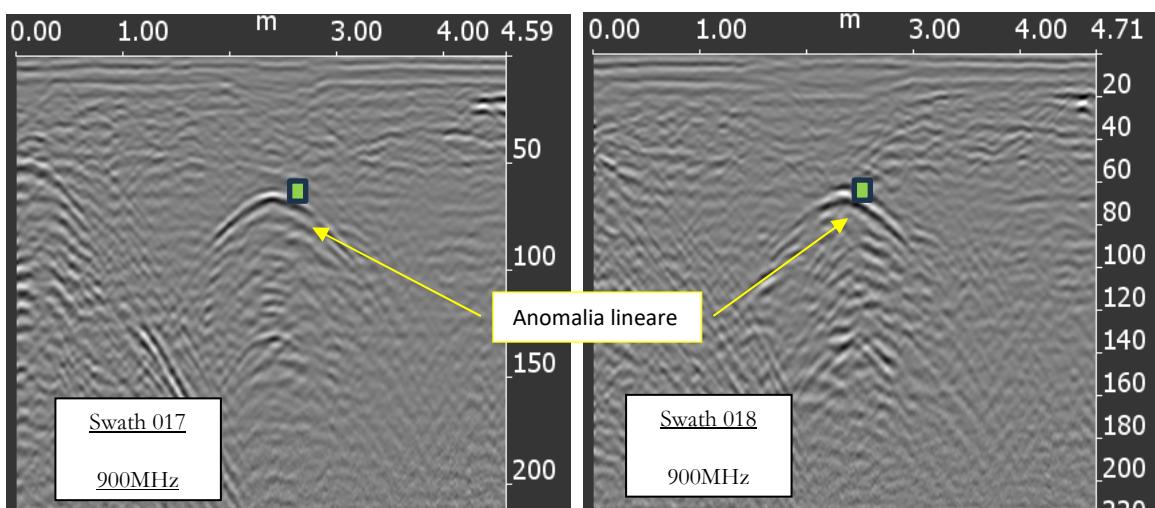




L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie.

In particolare, sono state riscontrate due anomalie lineari distinte e un'anomalia puntuale così come evidenziato nella tomografia alla profondità di 1.00 m da p.c. circa probabilmente riconducibile a dei sottoservizi o a delle strutture puntuali e lineari interrate.

4.1.11 Swaths griglia S2

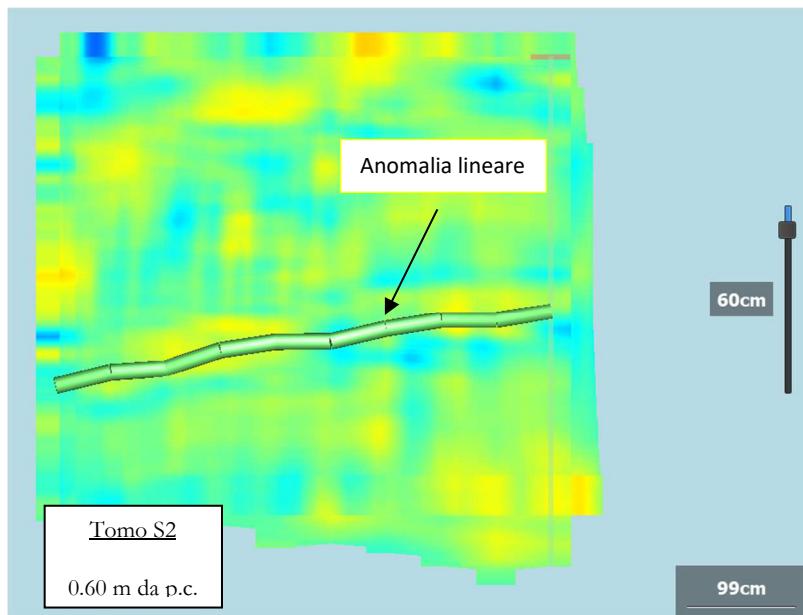


Mappo Geognostica Srl

Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



Tomografie:

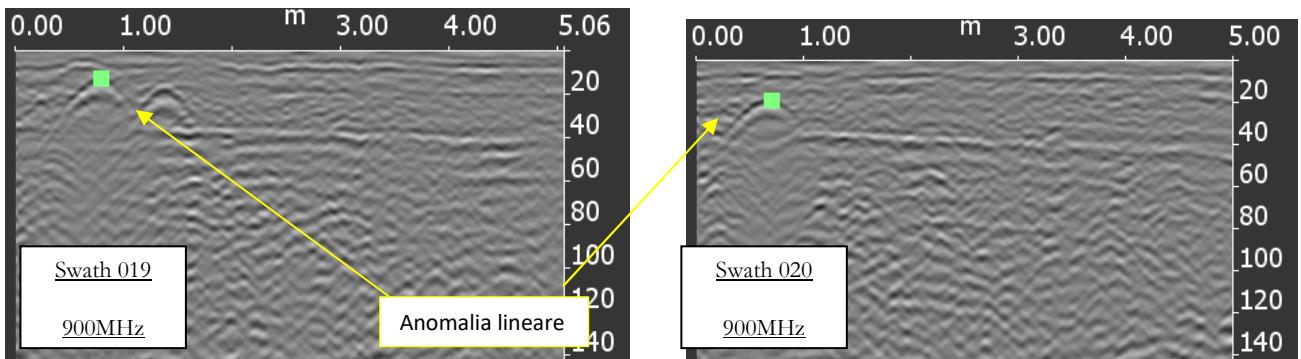


L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, le profondità a cui iniziano a delinearsi le diverse anomalie. In particolare, l'anomalia lineare evidenziata nelle swaths e nella tomografia precedentemente riportate si riscontra da una profondità di circa 0.60 m dal p.c.

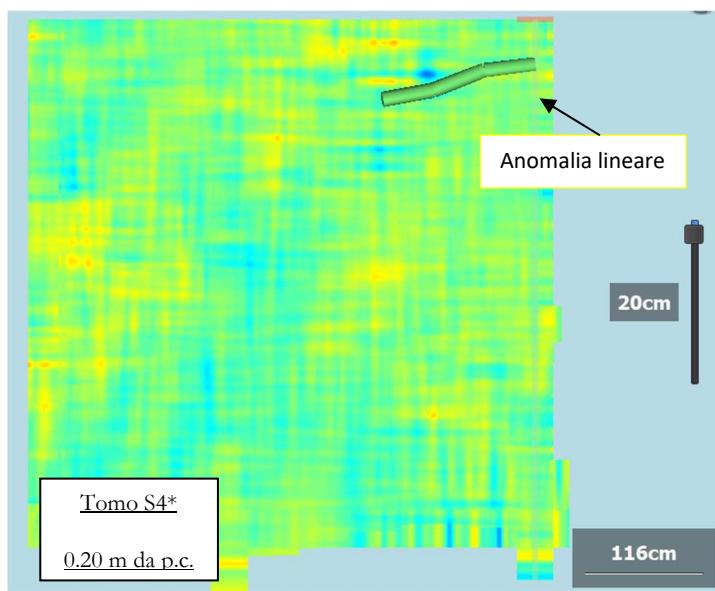
Mappo Geognostica Srl

Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

4.1.12 Swaths griglia S4*



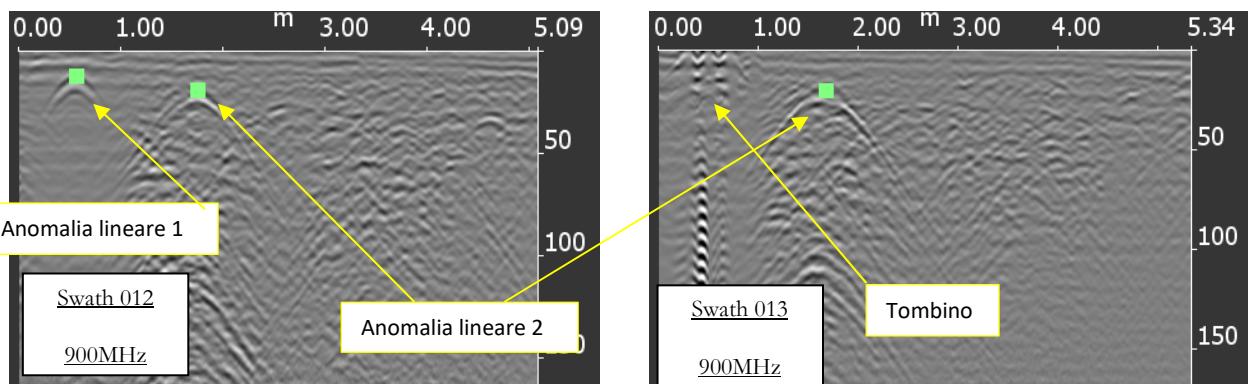
Tomografia:





L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, la profondità a cui inizia a delinearsi l'anomalia evidenziata corrispondente a circa 0.20 m dal p.c.

4.1.13 Swaths griglia S6/a*

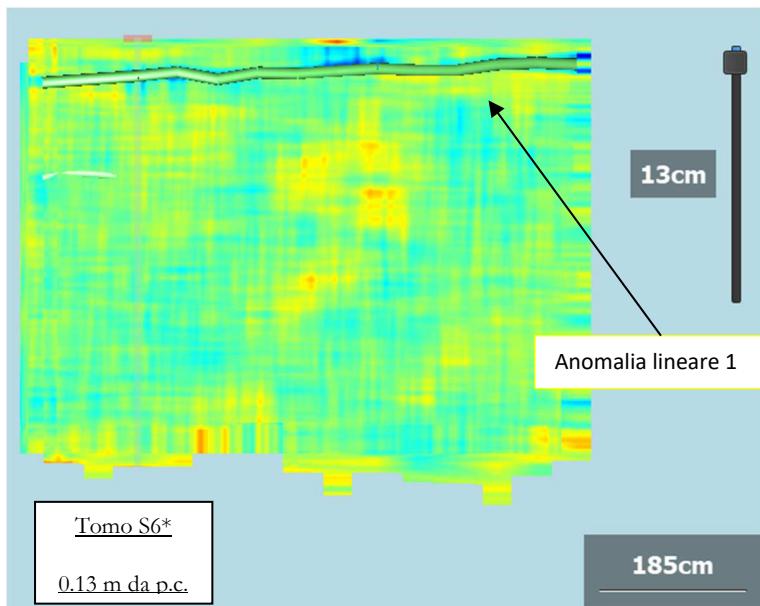


Mappo Geognostica Srl

Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



Tomografia:



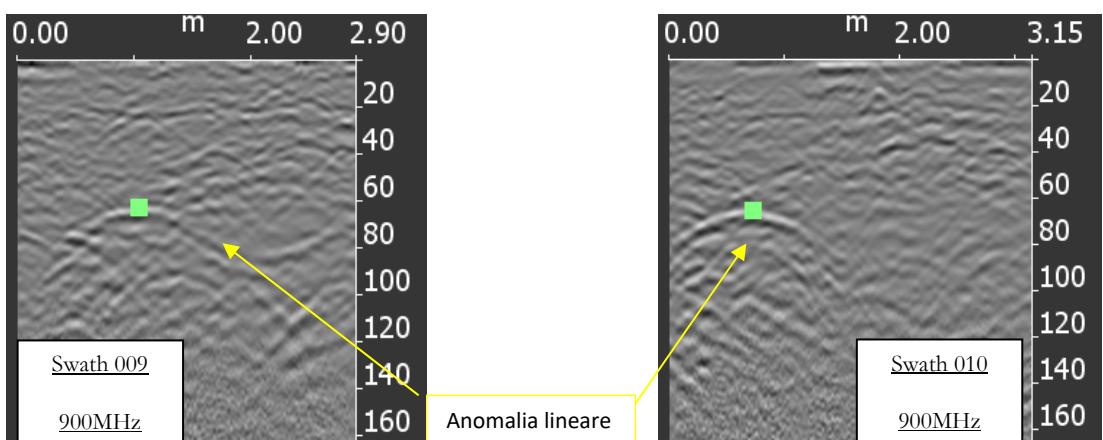
L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, la profondità a cui inizia a delinearsi l'anomalia evidenziata corrispondente a circa 0.10 m dal p.c.

Mappo Geognostica Srl

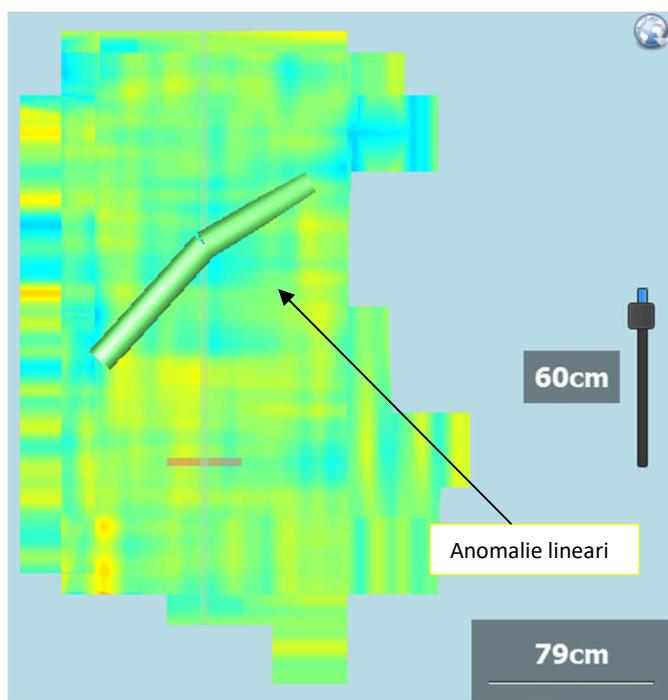
Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



4.1.14 Swaths griglia S6/b*



Tomografia:



Mappo Geognostica Srl

Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



L'analisi delle tomografie tramite il programma di elaborazione dati ha permesso di individuare, con buona approssimazione, la profondità a cui inizia a delinearsi l'anomalia evidenziata corrispondente a circa 0.60 m dal p.c.

Riassumendo, i radargrammi riportati mostrano anomalie superficiali riconducibili verosimilmente a sottoservizi o a strutture lineare interrate.

Alcune anomalie sono state segnalate anche durante l'acquisizione in campo, mentre altre sono state visualizzate solamente in attività di elaborazione in post acquisizione.

5 – CONCLUSIONI

La seguente relazione è stata redatta al fine di illustrare l'indagine Georadar eseguita in 20 aree in corrispondenza di Piazza dei Martiri della Libertà, nel comune di Lucca.

La **tecnica GPR** (Ground Penetrating Radar o georadar) è una metodologia geofisica attiva non invasiva che permette di investigare il sottosuolo analizzando le onde elettromagnetiche e la loro interazione con le strutture sepolte.

In seguito all'interpretazione, i radargrammi hanno dato modo di verificare la presenza nell'area di varie strutture interrate (puntuali o lineari) riconducibili a sottoservizi oppure a strutture interrate.

Mappo Geognostica Srl

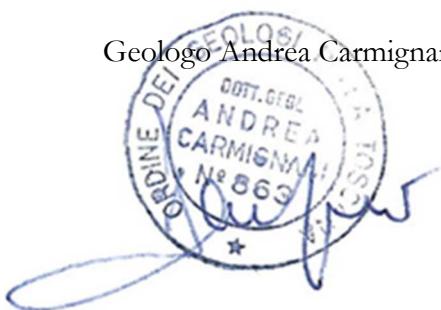
Loc.Biagioni,60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00



Si ricorda che in relazione sono stati riportati soltanto i radogrammi ove sono state riscontrate anomalie più significative e rappresentative delle varie aree; ciò non garantisce l'assoluta assenza di ulteriori sottoservizi o strutture interrate di dimensioni non riconoscibili dallo strumento oppure a profondità superiori a 1.50 m da p.c.

Altopascio, 22/07/2025

Geologo Andrea Carmignani



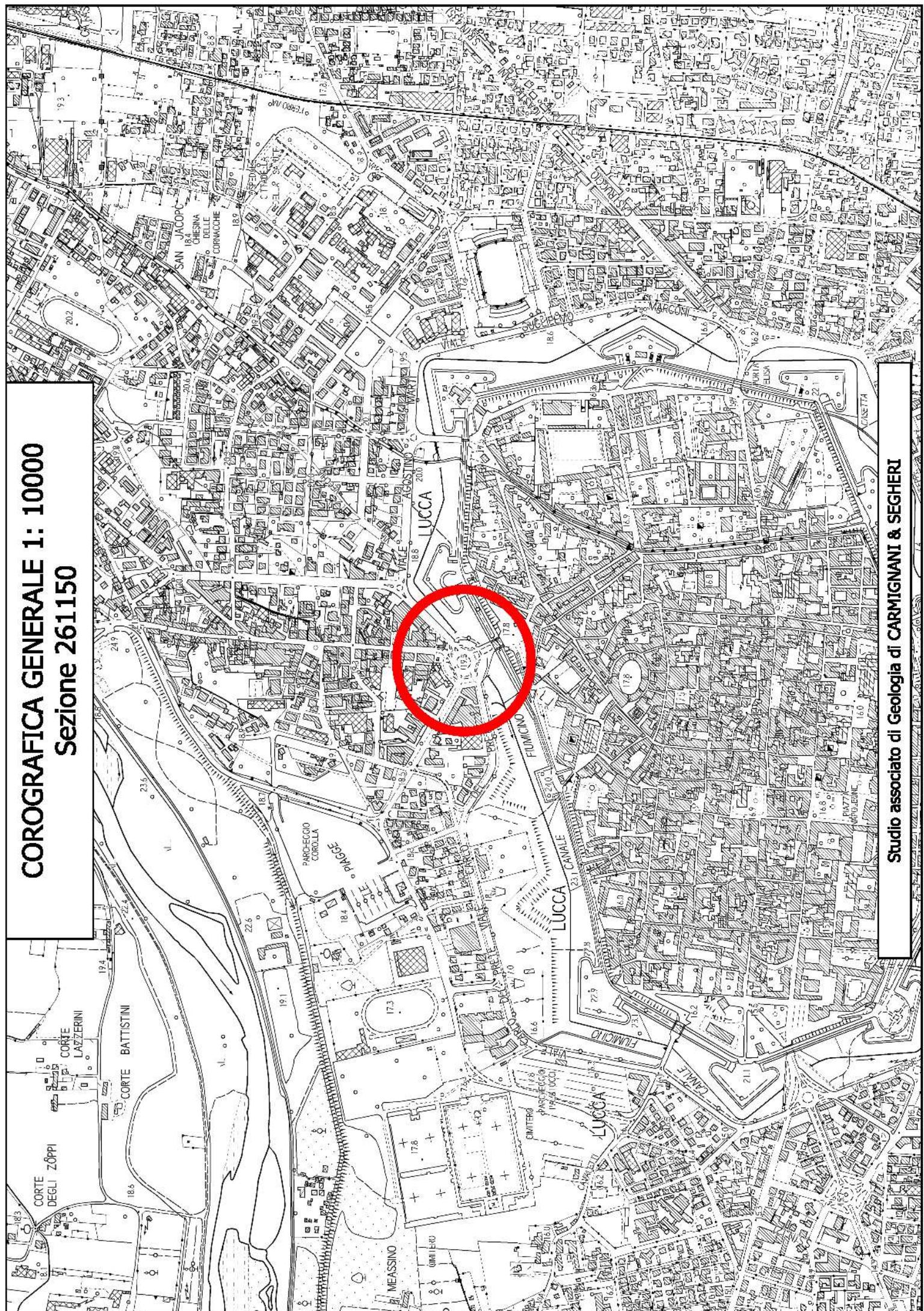
ALLEGATI

- Corografia generale in scala 1: 10000
- Planimetrie con griglie realizzate

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

**COROGRAFICA GENERALE 1: 10000
Sezione 261150**



Studio associato di Geologia di CARMIGNANI & SEGHERI

PLANIMETRIE CON GRIGLIE REALIZZATE

