

Paper n° 20

NUOVE FRONTIERE DEL GEORADAR MAPPATURA DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE SISTEMI DI ULTIMA GENERAZIONE

Nicola Berardi

¹ IGR Srl

1. INTRODUZIONE

Tra i molteplici metodi geofisici disponibili, il Georadar (GPR) si è da sempre distinto come il più rapido ed allo stesso tempo più preciso nella localizzazione di oggetti e strutture sepolte. Il Georadar (GPR) opera mediante l'immissione di impulsi radar elettromagnetici con la finalità di ricavare un'immagine tridimensionale delle caratteristiche di oggetti e anomalie nel sottosuolo.

Il progresso tecnologico permette oggi di ottenere risultati fino a pochi anni fa inimmaginabili, sia in termini di definizione che di capacità di penetrazione in profondità, ottenendo dettagliate ricostruzioni 3D, anche in condizioni di sottosuoli disomogenei e caotici.

I Georadar (GPR) di ultima generazione sono costruiti secondo il concetto di "array complesso di antenne", in cui un elevato numero di canali acquisiscono il dato simultaneamente permettendo di scansionare ampie aree in un breve periodo di tempo, ottenendo un risultato in alta risoluzione.

Spesso, inoltre, presentano una doppia polarizzazione (canali con polarizzazione VV e canali con polarizzazione HH), cosa che permette di mappare completamente un'area mediante scansioni eseguite in un'unica direzione.

Per meglio comprendere quanto premesso, verranno riportati di seguito dei casi studio che hanno lo scopo di mettere in evidenza differenti situazioni ed applicazioni che hanno visto la tecnologia Georadar protagonista, in grado di risolvere, con efficienza e qualità, situazioni complesse.

2. INDAGINI FINALIZZATE AL RILIEVO E GEOREFERENZIAZIONE DI TUBAZIONI INTERFERENTI CON LA PROGETTAZIONE DI NUOVE RETI

Un rilievo di dettaglio della situazione nel sottosuolo di una determinata area in cui è in progetto la posa di nuove reti interrato, necessita di un grado di dettaglio e precisione molto elevato, raggiungibile mediante l'utilizzo di una procedura che prevede l'esecuzione di indagini georadar, di un rilievo con localizzatore elettromagnetico, oltre ad un accurato rilievo topografico dei principali manufatti in superficie (armadi, censimento pozzetti, riasfaltature, ecc..).

Per tale tipologia di lavoro è stato utilizzato un sistema georadar di ultima generazione, ad array di antenne, con 30 canali acquisiti simultaneamente e con doppia polarizzazione (19 canali con polarizzazione VV e 11 canali con polarizzazione HH) che consente la mappatura completa dell'area mediante scansioni eseguite in un'unica direzione (di norma longitudinalmente all'asse stradale), eliminando la necessità di eseguire scansioni trasversali, al contrario di quanto obbligatorio con i georadar tradizionali.

I dati acquisiti sono stati costantemente georeferenziati mediante il sistema GPS/GNNS integrato.

Terminate le acquisizioni in campo i dati sono stati caricati in un software di elaborazione e post-processing che ha lo scopo di identificare i target nel sottosuolo tramite analisi congiunta di sezioni 2D e tomografie 3D; al termine dell'interpretazione, i risultati sono stati poi trasferiti in un programma di elaborazione cartografica CAD/GIS che ha permesso la preparazione delle cartografie finali.

Nel caso che si porta ad esempio è stata indagata un'area di circa 6.000 metri quadrati lungo alcune strade di una zona industriale in Alto Adige su cui era in atto la progettazione di un nuovo collettore fognario a sostituzione di quello esistente, non più adeguato alle esigenze dell'area.

L'acquisizione dei dati radar, grazie all'impiego dell'innovativa strumentazione IDS, si è sviluppata in una sola giornata lavorativa, mediante l'esecuzione di una serie di scansioni parallele eseguite spingendo a mano il carrello georadar (Figura 1).



Figura 1. Acquisizione dati georadar mediante strumentazione IDS StreamDP

Al termine delle attività strumentali si è proceduto con l'aggiornamento della cartografia di progetto mediante la verifica e mappatura di elementi e manufatti superficiali (pozzetti, saracinesche, armadi, ecc..) presenti nell'area; inoltre, è stata eseguita l'apertura ed ispezione di tutti i chiusini presenti nel tratto da indagare. Per ciascun manufatto ispezionato è stata annotata la tipologia, la profondità e l'andamento della tubazione riscontrata, in modo da poter essere d'ausilio nell'interpretazione dei dati, nella ricostruzione della rete dei sottoservizi, nonché nel tentativo di attribuire la tipologia a ciascuna condotta rilevata (Gas, Acquedotto, Rete elettrica, Fognatura, Reti TLC, ecc..).

Le procedure d'indagine e restituzione dei risultati hanno seguito quanto descritto nella Prassi di Riferimento UNI/PdR 26.1:2017 "Tecnologie di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale - Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo".

I dati grezzi acquisiti in campagna sono stati successivamente sottoposti a post-processazione mediante specifico software dedicato alla mappatura dei sottoservizi IDS GRED IQMaps, in grado di presentare un'immagine tridimensionale dello strato sub-superficiale (per mezzo di tomografie che permettono di "affettare" l'area indagata a diverse profondità), con una ricca serie di opzioni per navigare al suo interno o per sezionarlo ed evidenziarne eventuali anomalie. Offre, inoltre, la possibilità di esportare sezioni planari bidimensionali, dalle quali l'operatore può discriminare più facilmente le anomalie (Figure 2 e 3).

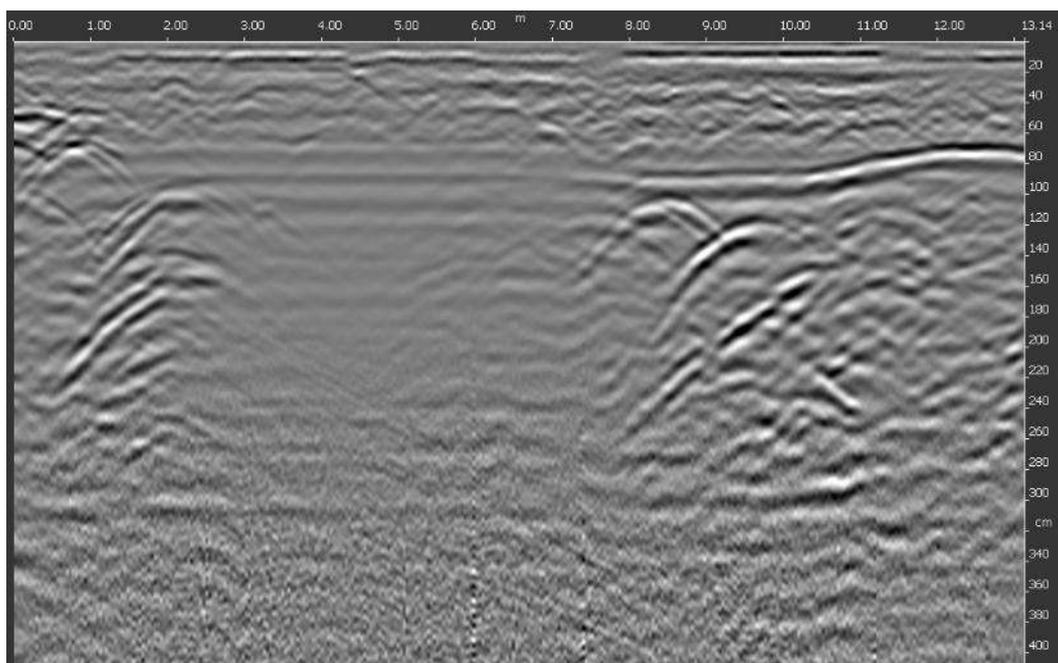


Figura 2: Esempio visualizzazione 2D del dato georadar

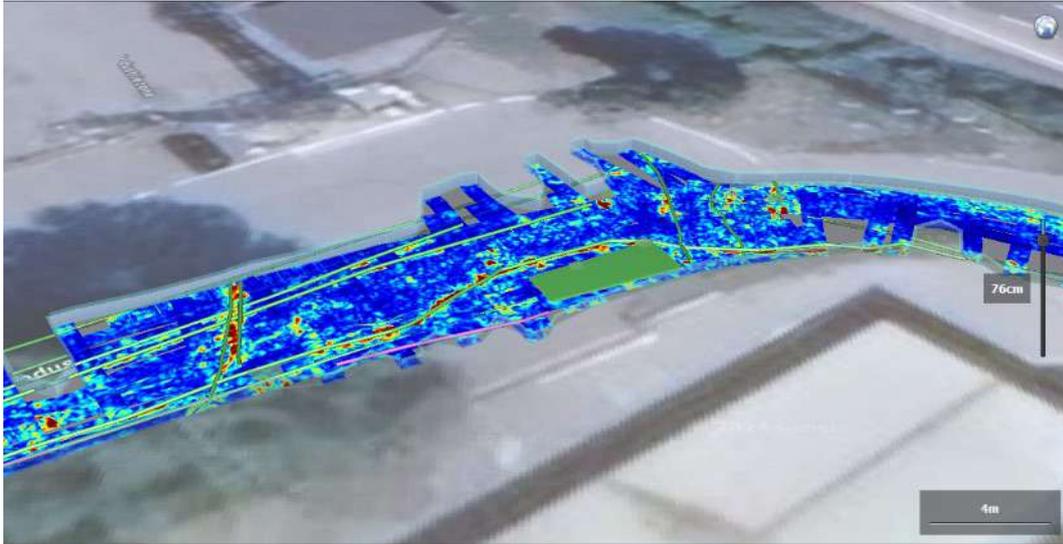


Figura 3: Esempio di visualizzazione tomografica 3D del dato georadar

Un'interfaccia dedicata permette di esportare automaticamente l'interpretazione in una mappa georeferenziata in ambiente CAD/GIS (Figura 4). La cartografia finale ha permesso di ricostruire con un'elevata affidabilità, l'andamento delle condotte lungo tutto l'asse stradale, permettendo anche l'assegnazione di quasi tutte le anomalie rilevate ad una specifica rete (ciascun colore in carta rappresenta una differente utenza).



Figura 4: Esempio di cartografia finale con rappresentazione delle condotte rilevate

Rispetto alle strumentazioni "tradizionali", i vantaggi nell'utilizzare un tale tipo di macchinario sono numerosi:

- Tempi notevolmente ridotti;
- Copertura pressoché totale dell'area di indagine;
- Elevata risoluzione e capacità di rilevare anomalie e tubazioni in geometrie complesse, ad esempio con andamenti non rettilinei (Figura 5);
- Capacità di penetrare in profondità maggiorata di almeno un 50% rispetto alla maggior parte delle antenne tradizionali (nel caso specifico si è raggiunta in quasi tutta la zona una profondità di indagine di 2,8-3,0m dal piano di calpestio);
- Software di elaborazione 3D con elevate prestazioni grafiche ed esportazione in qualsiasi sistema di coordinate e formato cartografico.

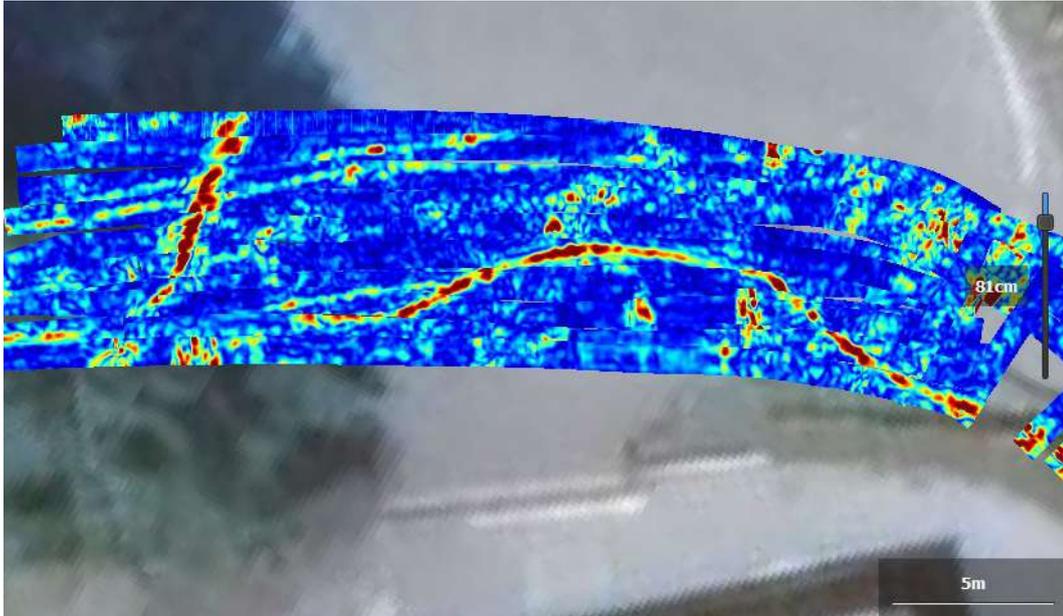


Figura 5: Esempio di rilevazione di una condotta con andamento non rettilineo

3. INDAGINI FINALIZZATE AL RILIEVO E GEOREFERENZIAZIONE DI TUBAZIONI INTERFERENTI CON LA POSA DI NUOVE RETI MEDIANTE HDD/TOC

L'analisi di interferenze e parallelismi presenti in un data zona in cui è prevista la posa di nuove tubazioni e cavidotti mediante tecniche NoDig rappresenta un'altra delle grandi sfide che hanno portato negli anni allo sviluppo delle tecnologie georadar, in particolare per la necessità di avere a disposizione strumenti in grado di raggiungere la massima profondità possibile senza perdere capacità di risoluzione e dettaglio.

Negli ultimi anni, finalmente, c'è stato un deciso balzo in avanti che ha permesso di raggiungere standard molto elevati, rappresentato sia da nuove generazioni di antenne che alle nuove architetture ad "array" che permettono l'acquisizione di un elevato numero di antenne in simultanea con elevata risoluzione.

Come caso tipo di tale densità abitativa in cui è prevista la diffusa posa di cavidotti in Fibra Ottica mediante TOC/HDD. L'indagine, ha coinvolto circa 25km di strade nelle zone periferiche della città (Figura 6).



Figura 7: Reticolo di strade indagate

Le scansioni georadar hanno interessato, di norma, i marciapiedi e le più adiacenti porzioni stradali per una fascia di indagine media di circa 3m, ottenuta con la semplice esecuzione di n.3 scansioni parallele al tracciato di progetto a copertura totale della fascia richiesta, eliminando del tutto le scansioni trasversali, necessarie con i georadar cosiddetti tradizionali (Figura 7).

Questa metodologia di indagine ha permesso di ottenere produttività estremamente elevate, con copertura media di 6.000-9.000 metri quadrati giornalieri.



Figura 7: Acquisizione dati mediante scansioni longitudinali all'asse di progetto

L'elevato grado di organizzazione, con l'invio in sede in tempo reale dei dati GPR non appena terminata l'acquisizione, ha permesso di procedere quasi in parallelo con la fase di post-processing ed interpretazione dati, rendendo possibile la rapida preparazione delle cartografie in formato GIS richieste dalla committenza (Figura 8).

Un tale procedimento permette di operare, temporalmente, anche nelle immediate vicinanze delle operazioni di posa, dando la possibilità ai tecnici in cantiere di procedere senza interruzioni alla verifica della fattibilità rispetto ai tracciati di progetto ed alla posa senza rischi di rallentamenti e pericolosi danneggiamenti di altre reti.

Inoltre, l'innovativa tecnologia Est (Equalized scrambled Technology) delle antenne utilizzate, è in grado di offrire prestazioni GPR senza precedenti massimizzando il rilevamento dei target in un intervallo più profondo rispetto a qualsiasi altra soluzione disponibile sul mercato.

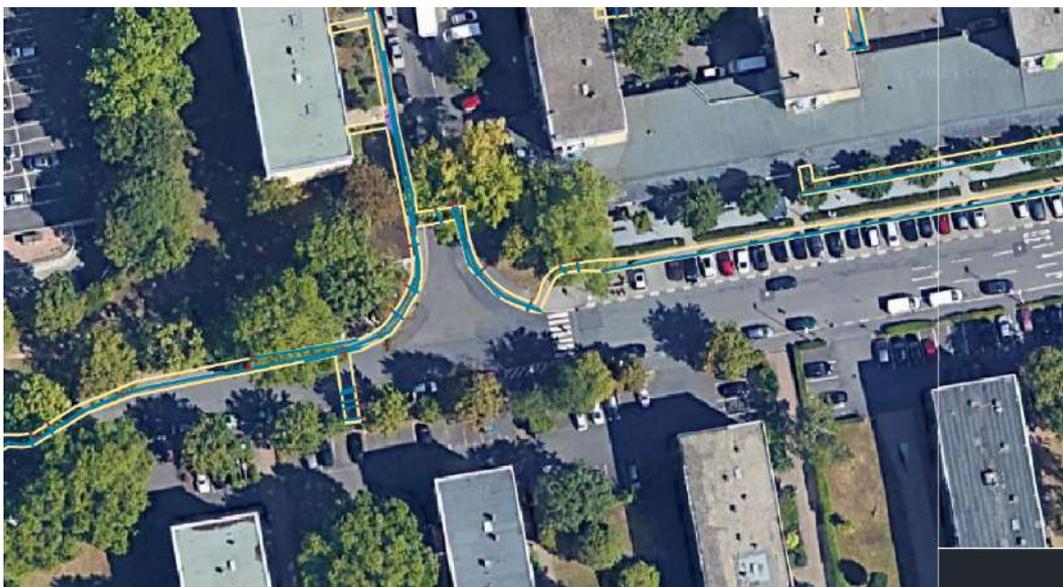


Figura 8: Dettaglio di una cartografia con la rappresentazione delle interferenze rilevate

4. INDAGINI FINALIZZATE AL RILIEVO E GEOREFERENZIAZIONE DI CONDOTTE DEL GAS

L'applicazione di cui andremo a parlare rappresenta una particolare attività che si differenzia sostanzialmente rispetto alle precedenti, in quanto l'esigenza si sposta su un'unica condotta specifica già presente nel sottosuolo, senza interessi nei confronti delle tubazioni vicine o interferenti.

Lo scopo del rilievo, infatti, è stato quello di individuare, cartografare e georeferenziare alcune condotte del gas nella Provincia di Agrigento, per un'estensione di circa 70km.

L'indagine è stata eseguita per una fascia di circa 2 metri, centrata sull'asse del metanodotto, mediante l'utilizzo di apparecchiatura radar IDS STREAM_UP. Sono state eseguite una serie di scansioni lungo l'asse della dorsale del gasdotto, mediante la mobilitazione della strumentazione trainata da mezzo a motore (Figura 9).



Figura 9: Acquisizione dati GPR mediante strumentazione trainata da automobile

Stream UP è un innovativo sistema GPR multicanale, multi-frequenza, a doppia polarizzazione e leggero dedicato alla mappatura delle utility su aree estese.

Si tratta di un sistema GPR in grado di operare in ambiente urbano senza rallentare il traffico (velocità di acquisizione consigliata di 60 km/h, grazie alla totale assenza di contatto con il terreno).

Fondamentale in questo tipo di lavoro, caratterizzato da strade molto strette contornate da edifici (canyon urbano), si è dimostrato il sistema di posizionamento (modulo APS) che combina la tecnologia GNSS+INS con algoritmi avanzati di traiettorie per ottenere le informazioni radar più accurate in scenari di copertura satellitare scadenti o assenti.

Nel corso dell'acquisizione dati, l'operatore ha potuto costantemente monitorare tutte le fasi di acquisizione, i dati delle traiettorie di configurazione, di diagnostica ed elaborazione tramite lo specifico software di acquisizione che consente di controllare da remoto senza necessità di connessione fisica tra veicolo e strumento (Figura 10).

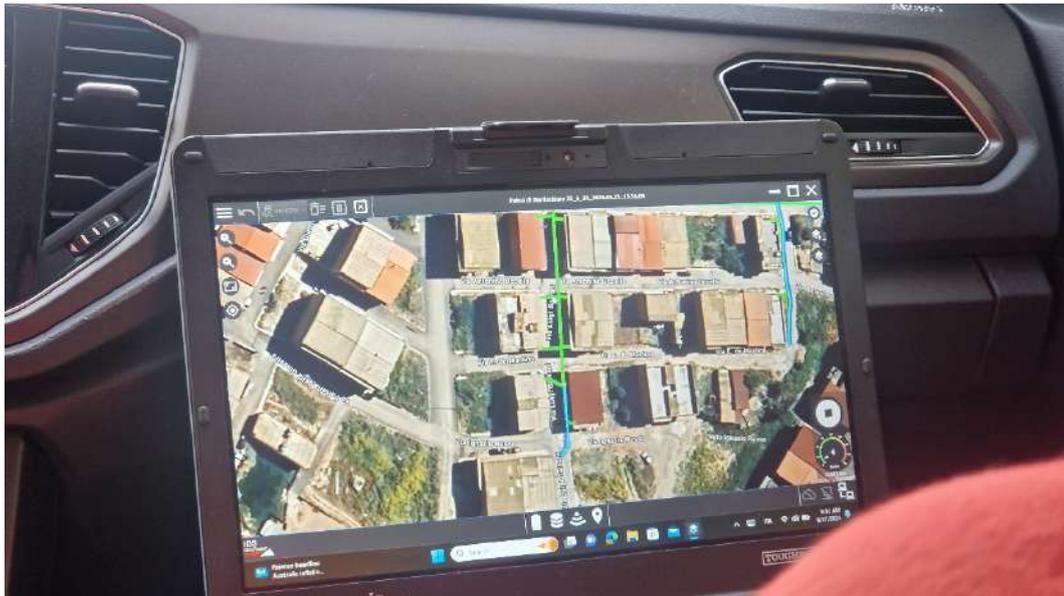


Figura 10: Monitoraggio in tempo reale delle traiettorie di acquisizione

L'acquisizione dei dati, nonostante l'estensione della rete da rilevare e le difficoltà logistiche date dalla complessa morfologia del territorio (strade molto strette e trafficate, numerose auto in sosta, frequenti tratti con pendenze elevate), ha richiesto esclusivamente una settimana scansionando il fitto reticolo di strade e vicoli delle città di Naro e Palma di Montechiaro (Figura 11), cercando di rilevare sia l'asse principale del gasdotto che le derivazioni e i numerosi allacci. Il risultato finale è stato una cartografia in ambiente GIS che ha permesso al committente di avere un preciso DataBase della posizione esatta della propria rete e degli allacci e derivazioni, completa di profondità che permetteranno di valutare criticità e anomalie, oltre a progettare adeguatamente eventuali nuove estensioni.



Figura 11: Reticolo di strade nelle quali è stato eseguito il rilievo

Aspetto vincente di questo tipo di strumentazione georadar utilizzata è stato sicuramente l'unione di un'estrema rapidità di esecuzione (il sistema di traino sospeso, senza contatto con il terreno ha permesso di coprire in pochi giorni i 70 km di rilievo, tra l'altro percorsi più volte per avere una copertura migliore possibile) con un'elevata risoluzione e qualità dei dati rilevati. Fondamentale, inoltre, è risultato il sistema integrato nello strumento APS (Accurate Positioning System) che permette di mantenere la precisione del rilievo anche in scenari di copertura satellitare scadente e o assente (canyon urbani, sottopassi, ecc..).

5. INDAGINI FINALIZZATE AL MONITORAGGIO DI VECCHIE CONDOTTE FOGNARIE PER RILEVARE CAVITA'

Quest'ultima applicazione, risulta particolarmente importante in un'epoca di cambiamenti climatici e ridotte risorse economiche da parte degli enti locali sul piano della manutenzione di vecchie condotte nonché di strade e prevenzione di dissesti idrogeologici.

Nel dicembre 2023, infatti, si è venuta a creare una pericolosa voragine al centro di un'importante arteria della città di Monza (Viale Campania), legata al danneggiamento di una vecchia condotta fognaria che, unitamente alle ingenti piogge riversatesi nei giorni precedenti, hanno causato un'importante erosione del terreno con il conseguente crollo della sede stradale (Figura 12).



Figura 12: Voragine creata sulla carreggiata di Viale Campania

A seguito dell'evento, che ha causato la chiusura di due delle quattro corsie dell'arteria, sono subito state intraprese attività di riparazione d'emergenza della condotta, oltre all'avvio dell'iter di progettazione e realizzazione di una nuova fognatura.

Nei mesi che necessariamente sono stati necessari, è stato parallelamente attivato un programma di monitoraggio che ha previsto, con cadenza mensile, l'esecuzione di Indagini Georadar (GPR).

Nello specifico, sono state eseguite una serie di scansioni parallele, mediante GPR ad array trainato da un veicolo motorizzato, per circa 1.200 metri e per una fascia di circa 5 metri centrata sull'asse della condotta (Figura 13).



Figura 13: acquisizione dati GPR mediante strumentazione ad array trainata da veicolo a motore

Le Indagini GPR si sono svolte, in ciascuna occasione, in poche ore di rilievo, limitando al minimo il disagio alla circolazione.

L'analisi dei dati acquisiti ha permesso di evidenziare altre zone degne di attenzione (Figura 14), caratterizzate da anomalie riconducibili a cavità o zone caotiche e rimaneggiate.

Lo scopo principale di tale attività è stato, soprattutto, quello di tenere tracciabilità di tali zone evidenziate nel primo monitoraggio eseguito a poche settimane dal crollo, in modo da valutarne al meglio eventuali mutazioni, cambi di forma, dimensioni o profondità.

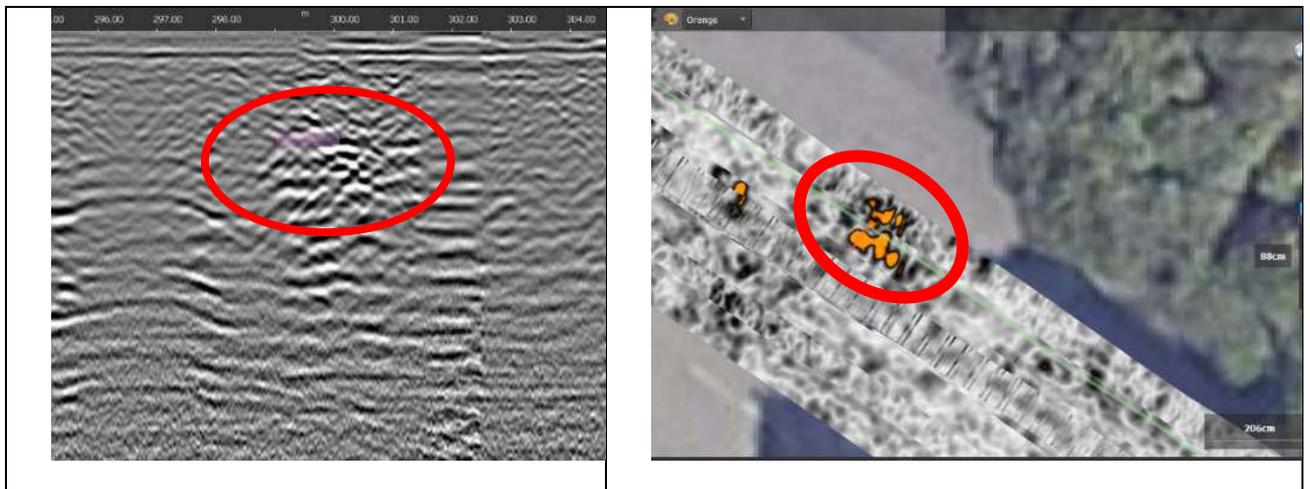


Figura 14: esempio di anomalia rilevata ed attenzionata durante i successivi monitoraggi

Anche in questo caso, la rapidità di esecuzione e l'elevata risoluzione e profondità raggiungibili, hanno rappresentato l'aspetto più innovativo rispetto al passato, riducendo al minimo i disagi alla cittadinanza ed ottenendo rapidamente un risultato affidabile che permetterà di programmare i futuri interventi sulle condotte con la necessaria tranquillità rispetto a possibili nuovi crolli.

6. CONCLUSIONI

Nei primi venti anni del millennio si sono susseguite le uscite di nuove antenne e strumentazioni che, sostanzialmente, si sono differenziate tra loro per "dettagli", sia a livello di prestazioni che di modalità di esecuzione delle indagini.

Negli ultimi cinque/sei anni, la tecnologia Georadar GPR ha compiuto, improvvisamente, un balzo in avanti epocale: l'avvento degli array di antenne e di nuove tecnologie applicate alle antenne stesse, hanno permesso di ottenere

strumentazioni in grado di acquisire dati in modo estremamente veloce, aumentando nello stesso tempo le prestazioni sia in termini di risoluzione che di capacità di spingersi in profondità.

Quest'ultimo aspetto, probabilmente, rappresenta il passo in avanti più importante: non si è più costretti a rinunciare alla risoluzione per poter scendere in profondità, le antenne di nuova generazione sono costruite per non accettare più compromessi ed ottenere il meglio con lo stesso strumento.

7. REFERENZE

Alsup S.A., Simmons G. (1984): Ground penetrating radar. (Salem, NH, Auburn Press, pp. 61)

Carrick Utsi E. (2017). Ground Penetrating Radar: Theory and Practice

Zeng X., McMechan G.A. (1997): GPR characterization of buried tanks and pipes. (Geophysics, vol. 62, pp. 797-806).