

## **La "Quarta Dimensione" dell'Investigazione: L'Analisi del Sottosuolo nella Polizia Giudiziaria**

*Ing. Marco Pesci*

*Istituto Ricerche Esplosivistiche*

Nel corso di un'indagine, gli agenti di polizia giudiziaria sono chiamati a risolvere casi e svolgere indagini che spesso sembrano sfuggire alla logica e alla percezione immediata. Accanto alla tradizionale raccolta di prove visibili e materiali, però, esiste una dimensione nascosta che ha assunto un'importanza sempre maggiore nel panorama delle investigazioni moderne: quella del sottosuolo.

In molti crimini, tra cui omicidio con occultamento di cadavere, traffico di droga e armi, occultamento di documenti, reati ambientali e interrimento di rifiuti, il sottosuolo diventa la chiave per svelare verità oscure e complessi misteri. Una corretta analisi e interpretazione di questo ambiente nascosto quindi non è più solo un complemento alle indagini, ma un vero e proprio strumento fondamentale, capace di aprire nuove prospettive e soluzioni.

Per questo motivo, l'analisi del sottosuolo è ormai considerata una vera e propria "quarta dimensione" delle indagini. Si parla di una dimensione invisibile, che sfugge all'occhio umano e ai metodi tradizionali di investigazione, ma che può essere analizzata correttamente grazie a tecnologie avanzate come il georadar, l'elettromagnetica e la tomografia a resistività. Questi strumenti permettono agli investigatori di conoscere l'ambiente ipogeo, rivelando ciò che è nascosto fino a profondità considerevoli, fino ad oggi impensabili.

La grande sfida, tuttavia, risiede nell'interpretazione di questi dati. L'analisi del sottosuolo non è solo una questione tecnica, ma anche interpretativa, in quanto è chiesto all'investigatore o al tecnico nominato ausiliario di polizia giudiziaria, di dedurre certezze da informazioni incomplete e indirette, data l'invisibilità dell'area da investigare. La capacità di leggere correttamente i segnali che emergono dalle profondità della terra è determinante per fare la differenza tra una pista errata e un'informazione fondamentale. Un errore nell'interpretazione può comportare il fallimento di un'indagine, mentre una corretta lettura dei segnali può portare all'individuazione di prove in grado di risolvere casi che sembrano irrisolvibili.

L'interpretazione dei segnali provenienti dal sottosuolo, infatti, non è un'operazione automatica. I dati che i sensori restituiscono devono essere letti, analizzati e contestualizzati da un tecnico esperto, che utilizza la sua conoscenza e il suo giudizio per costruire una mappa soggettiva e interpretativa del sottosuolo. Tuttavia, in questo processo si nascondono numerosi rischi, legati a quello che viene definito il human factor, ovvero l'influenza delle capacità, delle esperienze, ma anche dei pregiudizi e delle limitazioni cognitive del tecnico che elabora i dati.

Uno dei maggiori problemi, quindi, è che l'interpretazione risulta soggettiva. In molti casi, il tecnico si trova a dover affrontare segnali complessi e ambiguamente definiti, che potrebbero avere molteplici spiegazioni.

Un altro aspetto da considerare è la limitata oggettività delle tecnologie di prospezione stesse. Sebbene strumenti come il georadar siano estremamente avanzati, non sono privi di limitazioni. La risoluzione dei segnali dipende da vari fattori, come il tipo di terreno, le condizioni atmosferiche e la profondità degli oggetti sepolti. Questi parametri possono alterare il segnale, creando "falsi positivi" o "falsi negativi", che richiedono un ulteriore sforzo al tecnico preposto, spesso con risultati non all'altezza.

In questo scenario, l'affidabilità dei risultati può essere migliorata solo attraverso l'integrazione di tecnologie più avanzate, come l'intelligenza artificiale, in grado di ridurre drasticamente o eliminare l'errore umano. L'intelligenza artificiale può supportare gli investigatori nel processo di interpretazione, analizzando i dati con una precisione maggiore e annullando l'influenza dei fattori soggettivi.

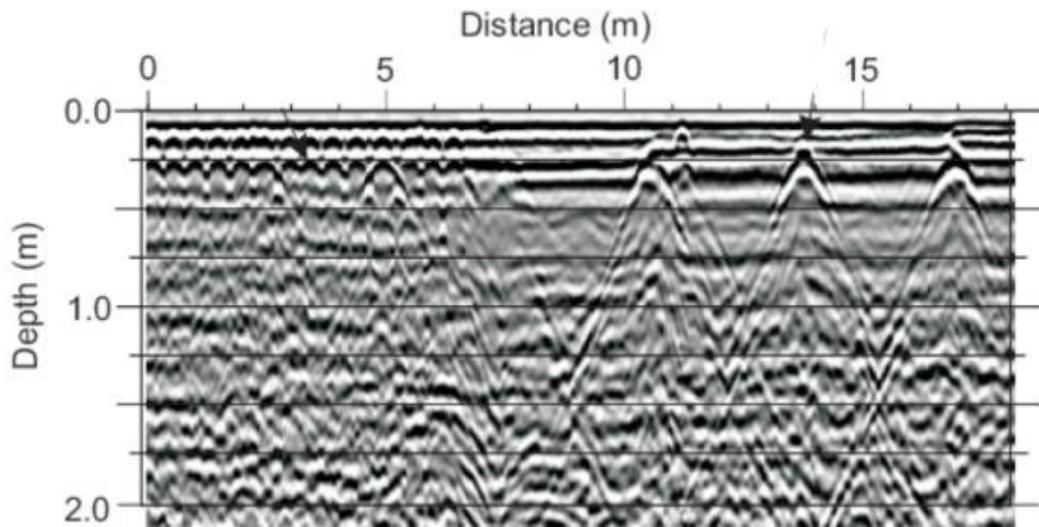
La sinergia tecnologica tra avanzate tecniche di prospezione geofisica e Intelligenza Artificiale permette di generare una vera e propria TAC 3D del sottosuolo, un modello tridimensionale dettagliato in grado di identificare qualsiasi anomalia sepolta: dai resti umani, alle armi, droga, documenti, discariche interrato, rifiuti pericolosi, contaminanti ambientali, ecc.

Il primo passo per generare una TAC 3D oggettiva, standardizzata e analizzabile dalle reti neurali è l'acquisizione dei dati tramite strumenti di prospezione avanzati. Il radar GPR, ad esempio, consente di rilevare anomalie sepolte grazie all'analisi della riflessione delle onde elettromagnetiche, mentre l'elettromagnetica e geoelettrica ERT 3D, che può scandagliare il terreno fino a 50 metri di profondità, ricostruisce le variazioni del terreno per individuare anomalie che potrebbero indicare la presenza di oggetti nascosti. A queste tecnologie si aggiungono i dati forniti dall'imaging multispettrale, capace di analizzare la superficie, e indirettamente l'immediato sottosuolo, a diverse lunghezze d'onda per rilevare indizi invisibili all'occhio umano.

Il vero salto qualitativo arriva però con l'introduzione dell'intelligenza artificiale, in grado non solo di aggregare e armonizzare i dati disomogenei provenienti dai vari sensori descritti prima, creando un modello digitale affidabile e oggettivo dello stato di fatto, ma di andare anche ad indagare selettivamente le anomalie evidenziando specificatamente i target cercati dall'investigatore.

Algoritmi di machine learning e deep learning quindi vengono addestrati su enormi dataset di dati geofisici e immagini multispettrali, imparando a riconoscere pattern e correlazioni che un operatore umano non coglierebbe. L'intelligenza artificiale è in grado di analizzare milioni di dati in pochissimo tempo, identificando con precisione le anomalie e classificandole in base al target.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo di un approccio multisensoriale, in grado di fornire una TAC 3D del sottosuolo e dell'analisi effettuato con algoritmi di intelligenza artificiale è facilmente spiegabile analizzando l'immagine sotto, rappresentante un radargramma, ovvero un output standard derivante da uno strumento di indagine del sottosuolo



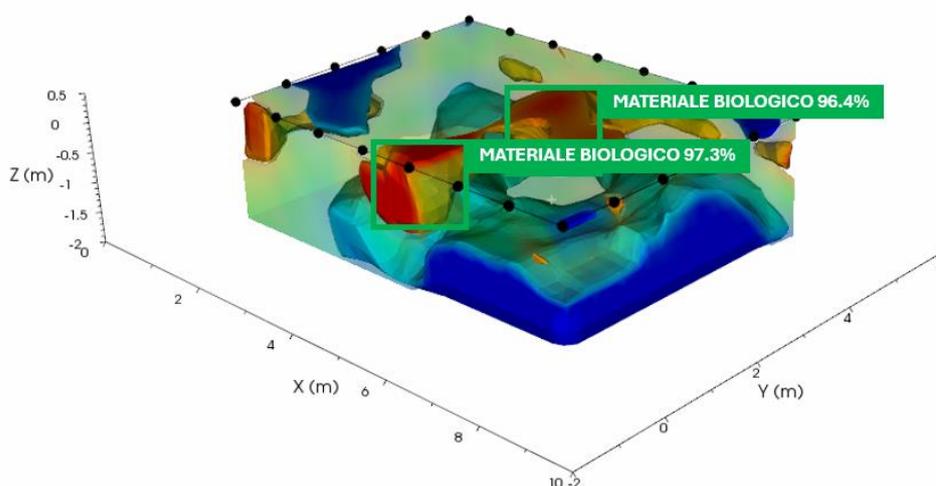
Da questo output strumentale il tecnico preposto deve interpretare i segnali rappresentati dalle iperboli e parabole caratteristiche ed estrapolare le evidenze ritenute significative.

Risulta evidente come questo compito sia piuttosto arduo e la possibilità di incorrere in errori sia piuttosto elevata.

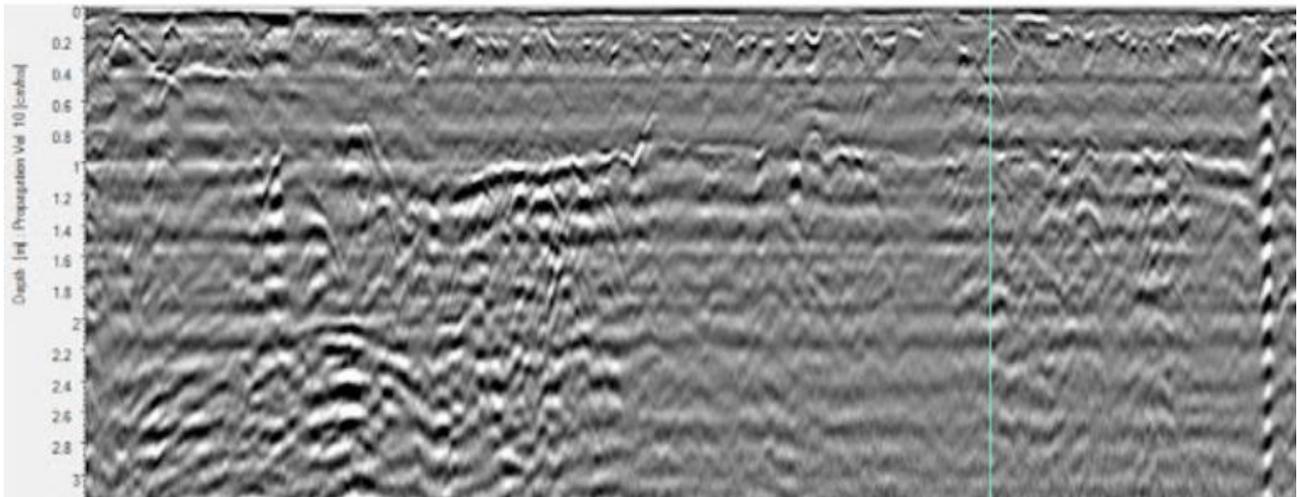
In particolare le principali criticità si hanno in quanto l'elevata presenza di rumore di fondo potrebbe nascondere la presenza di anomalie significative, rendendole invisibili all'occhio umano, e anche qualora le anomalie risultassero visibili, sarebbero impossibile da categorizzare da parte dell'operatore umano.

L'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale per la generazione della TAC 3D e la sua successiva analisi cambiano radicalmente l'impiego del tecnico preposto, che quindi si dovrà occupare di supervisionare e validare, secondo la sua esperienza e i dati correlati derivanti dalle attività di indagine, l'output oggettivo e ripetibile ottenuto dal software.

Di sotto, a titolo esemplificativo si riporta l'elaborato in formato 3D dell'immagine soprastante con la categorizzazione dell'anomalia cercata e trovata con successo, rappresentata da un cadavere

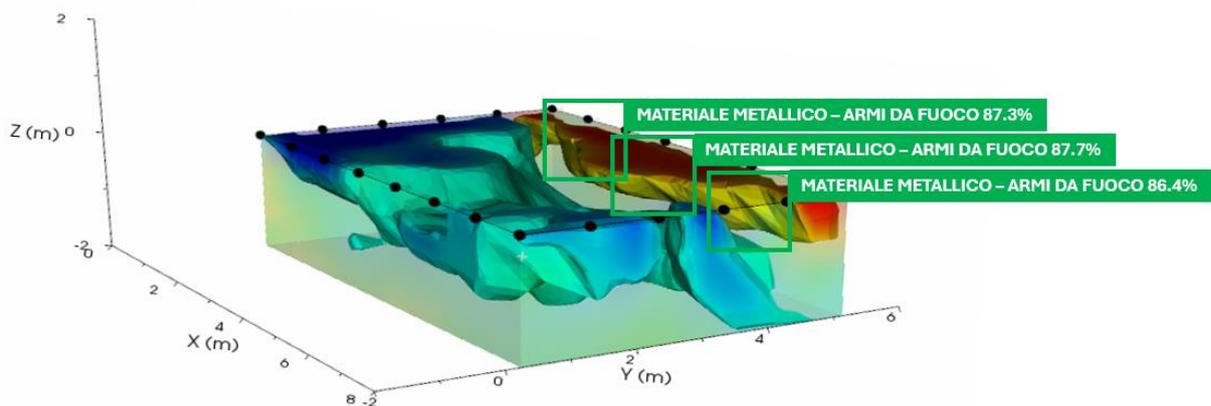


Lo stesso approccio è stato utilizzato per la ricerca di armi sepolte nel sottosuolo. Di seguito si riporta il dato grezzo strumentale che il tecnico esperto avrebbe dovuto interpretare con i metodi tradizionali



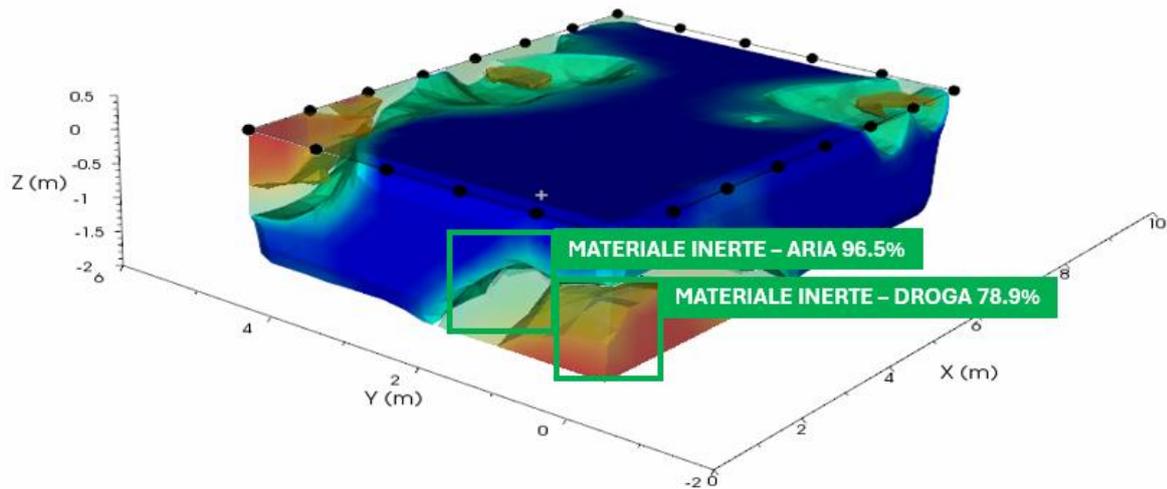
Risulta evidente come sia pressoché impossibile distinguere eventuali oggetti occultati dal resto delle evidenze ambientali presenti (rumore, ciottoli, ecc).

A seguito dell'elaborazione del dato grezzo con gli strumenti software menzionati l'output, successivamente confermato da un'ispezione diretta con scavo, è stato il seguente



Questo approccio non si limita ai materiali metallici e biologici, potenzialmente più semplici da rilevare, ma si estende anche a tipologie di elementi / materiali la cui risposta agli strumenti canonici risulta meno evidente a causa di variazioni di resistività / conducibilità meno importanti come droga e carta.

Di seguito si riporta quindi un output di caso specifico riguardante il reperimento di una modesta quantità di stupefacente occultato nel sottosuolo



E' importante notare come lo strumento software sia stato in grado di rilevare anche le inclusioni di aria che sono nate a causa delle attività di scavo e riempimento avvenute non più di due settimane prima del rilievo tecnico

Questo approccio quindi non solo elimina gli errori legati all'interpretazione manuale dei dati, ma cambia radicalmente la domanda che gli investigatori si pongono. Non si tratta più di chiedersi se sia possibile trovare un determinato target, ma di stabilire quale target sia necessario evidenziare. È una rivoluzione che sposta il focus dalla ricerca alla comprensione, accelerando i tempi e aumentando la precisione delle indagini.

Contrariamente alla percezione comune che la tecnologia possa ridurre l'importanza dell'apporto umano, la TAC 3D e l'IA dimostrano come strumenti avanzati possano valorizzare la professionalità di chi li utilizza. L'eliminazione del margine di errore legato al fattore umano nella fase di analisi e generazione del risultato consente ai tecnici di concentrarsi sulle fasi più strategiche e delicate dell'indagine, permettendogli di concentrarsi sulle aree critiche individuate, in un contesto in cui stress, pressione mediatica e necessità di avere risultati in tempi rapidi fanno da padrone.

Il rapporto tra tecnologia e competenza umana diventa quindi simbiotico: da una parte, l'IA accelera i processi e migliora la precisione, dall'altra, il tecnico esperto garantisce che i risultati siano contestualizzati correttamente e utilizzati in modo efficace. È una dimostrazione di come l'innovazione non debba necessariamente sostituire l'uomo, ma piuttosto amplificare il suo potenziale.

L'introduzione della TAC 3D del sottosuolo e dell'intelligenza artificiale per la sua analisi oggettiva nelle indagini forensi non segna l'inizio della fine per il lavoro umano, ma una nuova era di collaborazione tra uomo e macchina. Questa sinergia permette di ottenere risultati straordinari, combinando la capacità analitica delle tecnologie con l'intuito e l'esperienza dell'essere umano.

La giustizia del futuro sarà sempre più tecnologica, ma non per questo meno umana. Grazie a questi strumenti, le indagini non solo diventano più efficienti, ma anche più trasparenti e

affidabili, restituendo il ruolo centrale a chi, con professionalità e dedizione, lavora per svelare le verità nascoste nel profondo.

Le tecnologie descritte, già applicate in svariati casi di cronaca giudiziaria moderna, come ad esempio l'omicidio di Saman Abbash, Gaetano Impellizzeri e altri casi analoghi, non sono solamente applicabili al contesto del sottosuolo, ma hanno fornito eccellenti riscontri operativi anche per le analisi delle strutture e la ricerca di doppi fondi in pavimenti e pareti, possibili nascondigli di prove e altri target necessari al corretto svolgimento delle indagini.