

28 ottobre 2021

"I REATI AMBIENTALI"

Corso Cod.: P21085
Scuola Superiore della Magistratura

Gruppo di lavoro:
La prova scientifica nei reati ambientali

Sintesi dell'intervento

Generalità

- L'inquinamento derivante dall'occultamento di rifiuti
- La geofisica ambientale
- La ricognizione remota
- L'interferometria SAR (*InSAR*)
- La Termografia

Le principali tecniche di esplorazione del sottosuolo

- Il Georadar o GPR (*Ground Penetrating Radar*)
- Il metodo geoelettrico
- Il metodo elettromagnetico nel dominio della frequenza - FDEM (*Frequency Domain Electro-Magnetic*)
- La magnetometria

Il modus procedendi

- La scelta del c.t. o del perito: *quid iuris?*
- La ripetibilità dei rilievi geofisici
- Scavo: carotaggi e trincee, quando disporli?
- La collaborazione tra INGV e le FF.PP.

La prova scientifica nei reati ambientali

La "prova scientifica" assume particolare rilievo nei processi penali cosiddetti "**a struttura complessa**", ove è richiesto dal giudice il ricorso al sapere scientifico nella ricostruzione probatoria dei fatti di un reato, come quelli in materia di alterazioni ambientali.



La prova scientifica nei reati ambientali

I rapporti tra sapere scientifico e sapere giudiziario si collocano nei passaggi logico-giuridici che il Giudice compie nella ricostruzione del “fatto del passato” oggetto di accertamento

- ❑ Questa ricostruzione può avvenire con gli strumenti di ricerca che appartengono allo storico (documenti, testimonianze, etc...) oppure con strumenti che appartengono allo scienziato, cioè quella che viene chiamata “prova scientifica”
- ❑ L’esigenza di ricorrere all’ausilio del sapere scientifico all’interno del processo penale emerge al momento di procedere alla ricostruzione probatoria dei fatti di reato a struttura complessa (come i reati in materia di alterazioni ambientali), il cui accertamento diventa più agevole mediante le c.d. “prove scientifiche”.

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Lo sviluppo della ricerca scientifica negli ultimi decenni ha avuto conseguenze rivoluzionarie anche sulle tecniche di indagine e sul processo consentendo di pervenire, in alcuni settori e non solo nel nostro ordinamento, a risultati in precedenza inimmaginabili.
- ❑ Per **prove scientifiche** si fa riferimento a quelle “operazioni probatorie per le quali, nei momenti dell’ammissione, dell’assunzione e della valutazione, si usano strumenti di conoscenza attinti alla scienza e alla tecnica, cioè a dire principi e metodologie scientifiche, apparati tecnici il cui uso richiede competenze esperte”.
- ❑ Quello che, quindi, caratterizza la scientificità della prova è la natura del sapere che essa sottende.
- ❑ **Scientifico**, infatti, è il sapere che ha precise basi epistemologiche, e come tale prodotto di un metodo razionale e soggetto al controllo della comunità scientifica di riferimento che di quel sapere è artefice e custode.

La prova scientifica nei reati ambientali

Nei processi penali per reati ambientali possiamo così, schematicamente, **suddividere** le prove scientifiche **in tre categorie**:

- ❑ 1. le c.d. “**tradizionali**” che comprendono tutti quegli accertamenti condotti sulla base di un sapere specialistico comunemente condiviso dove la problematicità dell’accertamento probatorio si concentra non sulla premessa nomologica ma sul suo corretto impiego pratico (es. analisi chimiche);
- ❑ 2. quelle che utilizzano tecniche c.d. “**moderne**” ma ampiamente collaudate nella metodologia di base come, ad esempio, le indagini che consentono, attraverso la conoscenza delle proprietà geochimiche e isotopiche di alcuni composti (c.d. “*chemical fingerprinting methods*”), di individuare la sorgente dell’inquinamento, l’età del rilascio e/o i processi, in particolare biodegradativi, che ha subito il *plume* inquinante nel tempo;

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ 3. quelle “decisamente nuove e non ancora consolidate presso la comunità scientifica” come, per esempio, metodi di *fingerprinting* utilizzati per traccianti “non tradizionali” ad isotopi stabili come i metalli (mercurio, cromo, piombo, etc..).



La prova scientifica nei reati ambientali

Si tratta, in generale, di prove che possono essere utilizzate:

- a) per ricostruire un qualsiasi elemento utile all'accertamento della responsabilità dell'imputato
 - b) per fondare in termini di certezza positive conclusioni fattuali sugli elementi della fattispecie penale a giudizio
- ❑ Ad esempio per provare l'evento di avvelenamento delle acque destinate al consumo umano (art. 439 c.p.) sarà necessario accertare la pericolosità reale per la salute pubblica attraverso indagini scientifiche le quali verifichino che alla dose di sostanza contaminante rinvenuta siano associati effetti avversi per la salute (Cfr. Cass.pen., Sez.I, 19.9.2014 n. 45001). Quantità e qualità dell'inquinamento devono essere scientificamente accertate come pericolose per la salute pubblica.

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Così per provare l'evento di danno del reato di inquinamento (art.452-bis del c.p.) sarà necessario accertare quelle condizioni di “squilibrio funzionale e strutturale” della matrice ambientale che caratterizzano la condotta penalmente rilevante (Cfr. Cass.pen., Sez.III, 21.9.2016 n. 46170; Id., n. 15865 del 30/03/2017).
- ❑ Altro esempio: l'accertamento del pericolo per la vita o per l'integrità fisica di un numero indeterminato di persone (fondamentale per definire, sul piano della proiezione offensiva le caratteristiche del disastro ambientale, art. 452-quater c.p.) viene spesso condotto dalla Pubblica Accusa attraverso l'espletamento di indagini epidemiologiche che hanno lo scopo di fornire la base scientifica per provare la sussistenza in concreto di un pericolo attuale per la salute pubblica
- ❑ Ma, sarà sull'accertamento del nesso causale tra condotte ed eventi di inquinamento e/ o disastro che la prova scientifica giocherà un ruolo fondamentale nei processi penali dei prossimi anni.

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Accertamenti ricostruttivi della “causa” dell’inquinamento o del disastro che potranno risultare:
 - “**semplificati**” quando quest’ultima si incentra su condotte, seppur seriali e reiterate nel tempo, ma provenienti da un’unica sorgente inquinante
 - “**decisamente complessi**” allorquando, ad esempio, la causa non sia identificabile in una precisa condotta contenuta in un determinato segmento spazio/temporale ma risulti essere la sommatoria di una pluralità di contributi causali distruttivi, ripetuti e consolidati negli anni in condizioni, magari, di “inquinamento storico”.



La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Se, quindi, l'appello alle conoscenze scientifiche è spesso inevitabile nei processi per reati ambientali uno dei primi problemi da affrontare è quello di garantire l'affidabilità e l'attendibilità del contributo degli esperti in quanto “la qualità del dato in uscita è strettamente correlata alla qualità del dato immesso”: *come fare ?*
- ❑ E' indispensabile **accertare e verificare le competenze e capacità scientifiche dell'esperto** deducendole dalle esperienze pregresse di natura professionale, didattica, giudiziaria, etc.; dalle sue pubblicazioni su riviste autorevoli; dalle citazioni dei suoi scritti in studi qualificati del settore di competenza. E' necessario anche un (difficile) scrutinio sulla “indipendenza di giudizio dell'esperto” che deve essere svolto “sulla base di indici estrinseci di sicura efficacia dimostrativa”

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Ma, la strada maestra da seguire è quella di aumentare al massimo grado le dosi di *“contraddittorio sulla prova”*, facendo sì che il giudice possa comprendere appieno le questioni tecniche sulle quali si appuntano le opposte tesi: solo lo scontro dialettico fra le diverse tesi permette di vagliare il grado di affidabilità e di attendibilità delle stesse. **L'esperto (consulente o perito che sia) è attendibile solo in quanto la sua ricostruzione abbia resistito all'urto del contraddittorio.**
- ❑ Inoltre, posto che la perizia viene disposta, come previsto dall'art. 220 cod. proc. pen., *"quando occorre svolgere indagini o acquisire dati o valutazioni che richiedono specifiche competenze tecniche, scientifiche o artistiche"*, non può pretendersi dal giudice l'autonoma dimostrazione della esattezza delle conclusioni raggiunte dal perito, quando a tali conclusioni egli ritenga di prestare adesione, essendo sufficiente che dalla decisione risulti che l'adesione non sia stata acritica e passiva, ma frutto di attento e ragionato studio (Cass. pen., Sez. 1, n. 11706 del 22/12/1993, Rv. 196075 – 01).

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Nella materia dei “danni all’ambiente” è evidente come anche gli scienziati siano spesso ben lontani dal coltivare il mito della certezza assoluta: non leggi causali infallibili ma **criteri di tipo probabilistico** sono i parametri oggi dominanti nelle diverse discipline scientifiche che entrano in contatto con il processo penale
- ❑ La causalità è quindi soggetta alle incertezze di spiegazioni scientifiche non dotate di univocità (si veda ad es. il c.d. effetto acceleratore prodotto sul mesotelioma pleurico dalle successive esposizioni all’amianto) e, quindi, i giudici si troveranno sempre più spesso nella condizione di dovere scegliere tra orientamenti scientifici in concorrenza: non di rado, senza che sia neppure chiaro se esista, con riferimento all’ambito disciplinare che viene in questione, una corrente di pensiero dominante.

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Non è, però, compito del giudice dare patenti di fondatezza a questa piuttosto che a quella teoria, ma di esaltare la fase della *cross-examination* in un'ottica non solo giuridica ma anche scientifica con riferimento al caso in giudizio.
- ❑ Sul punto è infatti pacifico in giurisprudenza che il giudice, quando sia necessario svolgere indagini od acquisire dati o valutazioni che richiedono specifiche competenze tecniche, non può prescindere dall'apporto della perizia per avvalersi direttamente di proprie, personali, competenze scientifiche e tecniche, perché **l'impiego della scienza privata costituisce una violazione del principio del contraddittorio nell'"iter" di acquisizione della prova e del diritto delle parti di vedere applicato un metodo scientifico e di interloquire sulla validità dello stesso** (da ultimo: Cass. pen., Sez. 1, n. 19822 del 19/05/2021) Rv. 281223 – 01).

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Emblematica, è peraltro, quella giurisprudenza che afferma come “il giudizio penale non può essere il luogo nel quale si forma il sapere scientifico, che è processo di estrema complessità, di imprevedibile proiezione temporale e di necessaria dimensione universale. Il sapere scientifico, altrove consolidatosi, giunge nel processo penale attraverso gli esperti; al giudice sta il compito di assicurare la competenza e l'imparzialità di giudizio dell'esperto e di verificare con l'ausilio di questo, attraverso una documentata analisi della letteratura scientifica universale in materia, l'esistenza e l'apporto della legge scientifica di copertura” (Cfr. Cass.pen., Sez.IV, 14.3.2017, n. 12175)

La prova scientifica nei reati ambientali

❑ Bisogna evitare un duplice pericolo:

1) che la scienza espropri il diritto

2) che il diritto ignori o rinneghi la scienza, ricordando i principi di garanzia e la regola del giudizio del processo penale secondo la quale la colpevolezza deve essere affermata oltre ogni ragionevole dubbio: l'impossibilità della spiegazione scientifica in termini di certezza razionale cede il passo alla regola processuale di giudizio che risolve il dubbio a favore della persona indagata o imputata.

❑ Soprattutto in contesti di rilevante complessità tecnico-scientifica, l'impossibilità pratica di pervenire ad un giudizio di certezza processuale, in termini di elevata credibilità razionale dell'enunciato di accusa, può comportare la neutralizzazione dell'ipotesi accusatoria e l'esito assolutorio in forza del canone tradizionale di garanzia *"in dubio pro reo"*.

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Dunque, se l'appello alle conoscenze scientifiche è spesso inevitabile nei processi per reati ambientali, uno dei problemi da affrontare è quello di **garantire l'affidabilità e l'attendibilità del dato scientifico**, in quanto la qualità di una perizia è strettamente correlata alla qualità del "dato d'ingresso".
- ❑ E' indispensabile **accertare e verificare le competenze** di chi fornisce il "dato di ingresso», ossia le competenze dell'esperto che fornisce, sulla base del *dato di ingresso*, il proprio parere professionale.
- ❑ A livello internazionale, un *team* di massimi esperti tecnici che si occupano di analisi di laboratorio e di esperti di sistemi di gestione, ha definito una norma di buon funzionamento delle organizzazioni che prelevano i campioni, li analizzano e interpretano i risultati per fornire un parere professionale.
- ❑ Questa norma di riferimento è la **ISO/IEC 17025** che regola le attività dei cosiddetti "*Laboratori di prova*".

La prova scientifica nei reati ambientali

- ❑ Pertanto è necessario ricorrere a organizzazioni che forniscono attività tecnica in modo coerente con lo standard ISO/IEC 17025.
- ❑ Nel settore **ambientale**, rilevante per il tema odierno, è il numero di laboratori specializzati nella caratterizzazione dei rifiuti e del suolo, per accertare l'ammissibilità di un rifiuto alla specifica categoria di discarica e l'efficacia delle operazioni di bonifica dei siti contaminati: si tratta di circa 300 laboratori privati, tutte le Agenzie Ambientali e ISPRA.
- ❑ La norma indica i diversi fattori che impattano sulla correttezza e affidabilità delle attività di laboratorio:
 - la competenza del personale
 - le condizioni ambientali e i locali
 - il campionamento e trasporto del campione
 - i metodi di prova
 - le apparecchiature
 - la manipolazione del campione
- ❑ Per ciascuno di questi fattori la ISO/IEC 17025 definisce le prestazioni che il laboratorio deve soddisfare. Così come una indagine sulla "*indipendenza di giudizio del personale*".

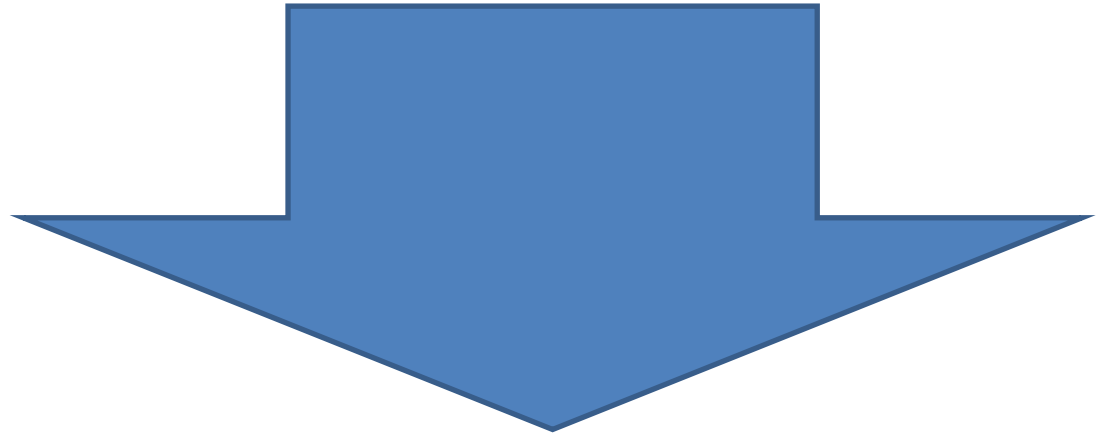
La prova scientifica nei reati ambientali



La ISO/IEC 17025 :
definisce i criteri
di competenza su
tutta la filiera del
processo analitico,
dal
campionamento
all'interpretazione
del risultato.

La prova scientifica nei reati ambientali

❑ Attenzione:



- ❑ la norma ISO/IEC 17025 prevede che il laboratorio valuti l'incertezza di misura associata ai risultati delle analisi, così che l'interpretazione degli stessi sia accompagnata dal **giusto livello probabilistico di certezza**, da permettere al giudice, l'applicazione del principio secondo il quale la colpevolezza deve essere affermata *oltre ogni ragionevole dubbio*.

L'INQUINAMENTO DERIVANTE DALL'OCCULTAMENTO DI RIFIUTI

- ❑ L'occultamento nel sottosuolo di rifiuti di varia natura è stata purtroppo, negli ultimi decenni, una pratica piuttosto diffusa su molte aree della nostra Penisola.
- ❑ Lo smaltimento nel terreno di fluidi, di scorie, di sostanze chimiche tossiche, l'interramento di fusti metallici contenenti scarti delle lavorazioni industriali hanno costituito e costituiscono ancora oggi una fonte di grave degrado ambientale, in quanto tali attività criminose sono state perpetrate senza la benché minima protezione del sottosuolo.
- ❑ Rilevanti sono le ripercussioni sul territorio soprattutto con la compromissione della qualità delle risorse idriche sotterranee: i suoli e le acque contaminate incidono direttamente sull' agricoltura, sulle coltivazioni, sugli allevamenti. Le sostanze nocive così smaltite possono agevolmente entrare nella catena alimentare creando danni anche alla salute umana.

L'INQUINAMENTO DERIVANTE DALL'OCCULTAMENTO DI RIFIUTI

- ❑ I siti prescelti per lo smaltimento dei rifiuti sono vecchie cave dismesse, canali, depressioni morfologiche o terreni agricoli dove tramite escavatori vengono create ampie buche rapidamente riempite. Negli ultimi anni si è assistito a nuove pratiche, con lo spandimento di sostanze pericolose sul suolo stesso opportunamente "preparato» o a pochi decimetri di profondità.
- ❑ In questo quadro di scempio ambientale sono numerosi i problemi da affrontare, a partire dall'individuazione di questi siti di smaltimento. Infatti spesso la ricostituzione del manto erboso (che in certe condizioni ambientali è particolarmente rapido) cela le attività di scavo e di ricoprimento e quindi le tracce dell' attività pregressa possono sfuggire alla semplice osservazione del terreno. Una volta individuati questi siti, è necessario valutare l'estensione delle aree interessate dallo smaltimento illecito, la consistenza e la natura dei materiali interrati e accertare il grado di inquinamento del suolo e del sottosuolo.

L'INQUINAMENTO DERIVANTE DALL'OCCULTAMENTO DI RIFIUTI

- ❑ Si comprende quindi come sia fondamentale fornire mezzi **agevoli** e soprattutto **rapidi** per poter intervenire sul territorio e ubicare gli accertamenti diretti a chi opera nell'ambito delle indagini volte all'identificazione di discariche illegali e interramenti di rifiuti.
- ❑ Le **tecniche geofisiche**, impiegando metodologie di esplorazione di tipo **indiretto**, forniscono per l'appunto strumenti altamente tecnologici volti all'individuazione di rifiuti interrati e di alcune tipologie di inquinamento sotterraneo.
- ❑ Le informazioni ricavate dai rilievi geofisici sono di notevole supporto non solo alle **indagini delle forze di polizia** preposte al controllo del territorio e agli accertamenti di irregolarità nel settore, ma anche a **tutti gli operatori che all'interno della Pubblica Amministrazione** si occupano dell' ambiente e dello studio di possibili fonti di inquinamento.

La geofisica ambientale

- ❑ La **geofisica ambientale** si occupa dello studio della parte più superficiale della crosta terrestre, affronta e cerca di dare delle risposte ad alcuni quesiti che vengono spesso posti nel settore della tutela del territorio.
- ❑ I mezzi di indagine impiegati sono di tipo **indiretto**, cioè la presenza di masse, strutture o fluidi nel sottosuolo viene evidenziata mediante la registrazione in superficie degli effetti da questi prodotti nell'ambiente circostante, o misurando le variazioni di alcuni parametri fisici nel terreno esaminato.
- ❑ Queste tecniche sono **non invasive**, cioè non alterano lo stato dei luoghi sui quali si va a operare e soprattutto, nella maggior parte dei casi, sono ripetibili nel tempo.
- ❑ Possono quindi essere utilizzate su **vaste aree di territorio** per identificare le sorgenti inquinanti **con tempi e costi contenuti**.

La geofisica ambientale

- ❑ L'indagine geofisica quindi viene programmata tenendo ben presente l'obiettivo della ricerca, prestando particolare attenzione alle **caratteristiche del sito** sul quale si andrà ad operare (geologia e morfologia) e alle **condizioni al contorno** (presenza di strutture antropiche, sviluppo della vegetazione ecc.).
- ❑ Gli interventi generalmente sono **volti a individuare masse anomale nel sottosuolo** (fusti, rifiuti, scorie, serbatoi, ordigni, strutture sepolte), alla **verifica della presenza di inquinanti** o a **definire la propagazione di eventuali *plume* nelle aree limitrofe alle discariche di RSU**, ossia quelle parti di un acquifero sotterraneo che, in una situazione di contaminazione da sostanze pericolose, trasportano le sostanze contaminanti.

La geofisica ambientale

- ❑ È possibile mettere in luce con una certa precisione la presenza, la dimensione e la profondità dei **materiali interrati**, e ciò risulta fondamentale per orientare lo scavo di verifica riducendo così il rischio del loro danneggiamento in fase di recupero.
- ❑ A seguito dell' esecuzione di una campagna di misure vengono realizzate apposite **cartografie tematiche** dalle quali si possono definire le dimensioni dell' area inquinata, ricostruire la situazione ambientale del sito e riservare gli approfondimenti alle situazioni con maggiore criticità.

La geofisica ambientale

- ❑ Negli ultimi anni si è assistito a un sempre maggiore impiego di tali tecniche di esplorazione in campo ambientale sia per il **grado di precisione raggiungibile con costi accettabili**, sia per i **notevoli sviluppi dell'elettronica e dei software per l'elaborazione dei dati**.
- ❑ Alcune di queste consentono di realizzare modelli del sotto suolo a due dimensioni (**2D**), cioè lungo sezioni verticali e in alcuni casi tridimensionali (**3D**).
- ❑ Con la **ripetizione delle osservazioni nel tempo** si può arrivare così a conoscere, studiare e analizzare con un buon dettaglio un fenomeno in atto come il propagarsi di inquinanti, siano essi percolati o idrocarburi e seguirne l'evoluzione spazio-temporale.
- ❑ Inoltre, risulta abbastanza agevole **localizzare serbatoi di stoccaggio interrati** e verificare la possibilità di perdite.

La ricognizione remota

- ❑ L'osservazione del territorio finalizzata all' individuazione delle variazioni morfologiche di un' area o alla ricerca di un sito sospetto si può avvalere efficacemente **dell'aerofotogrammetria** e del **telerilevamento** (*remote sensing*).
- ❑ Infatti, non solo è possibile **apprezzare modificazioni morfologiche quantomeno sospette** ma anche **definire l'intervallo temporale nel quale possono essere state messe in atto tali attività**.
- ❑ L'esame delle **ortofoto** (fotografie aeree geometricamente corrette e georeferenziate) consente quindi di osservare l'evoluzione delle trasformazioni del territorio.
- ❑ Sono disponibili presso l'Istituto Geografico Militare, nei **portali cartografici del Ministero dell'Ambiente o delle regioni**, nel **Sistema Informativo della Montagna (SIM)** e in molti archivi di istituzioni pubbliche.

La ricognizione remota

- ❑ A queste si affiancano le **immagini satellitari** che possono operare su diverse lunghezze d'onda, variabili, dal visibile all'infrarosso lontano.
- ❑ Lo sviluppo tecnologico e una più efficiente rete di distribuzione di questi dati permette di ottenere, attraverso i cataloghi gestiti dall'USGS (*United States Geological Surveys*) o dal programma *COPERNICUS* della Commissione Europea, immagini la cui risoluzione spaziale è compresa da qualche metro a qualche decametro, finanche al chilometro.

Quali sono i vantaggi delle immagini satellitari?

- ripetitività della misura (in termini di rivisita ed invarianza del sistema di misura, concetti fondamentali nelle attività di monitoraggio);
- grande copertura areale (da immagini di circa 10x10 km a strisce di 13x100 km);
- possibilità di accedere a cataloghi lunghi anche decine di anni (dall'inizio degli anni '70 ad oggi nel caso di immagini *Landsat*).

La ricognizione remota

- ❑ Da non trascurare anche la visione del territorio fornita dagli applicativi come **Google Earth** o **Bing Maps**; per alcune aree ci sono addirittura immagini a catalogo di anni precedenti.
- ❑ Ovviamente tutte le immagini sia aeree che satellitari permettono di osservare la **superficie** del terreno, come questo si presenta oggi o come era negli anni passati.
- ❑ Non è possibile purtroppo indagare il **sottosuolo**, scoprire cosa sia celato al suo interno.
- ❑ Il segnale **non è penetrativo e dipende strettamente dalla presenza del Sole** come sorgente energizzante.
- ❑ In alcuni casi e sotto certe condizioni invece risultano visibili **le tracce di strutture archeologiche poco profonde**. Ciò è dovuto all'influenza di queste sui terreni incassanti, andando a modificare quei parametri che possono essere usati come *proxy*, ad esempio l'umidità del terreno o la qualità della vegetazione affiorante.

Interferometria SAR

- ❑ L'interferometria SAR (*InSAR*) è una tecnica di elaborazione di immagini acquisite da un particolare sensore radar, il SAR (*Synthetic Aperture Radar*), che opera su piattaforma satellitare o aerea.
- ❑ Grazie **all'InSAR** è possibile misurare deformazioni del suolo dovute a terremoti, frane, subsidenze (in generali variazioni topografiche) o spostamenti di infrastrutture, con accuratezze sub-centimetriche.
- ❑ Il SAR è anche utile per identificare cambiamenti delle superficie osservata usando metodi di *Change Detection* basati sulla coerenza interferometrica o sull'intensità del segnale radar.

Interferometria SAR

- ❑ Le attività criminose legate allo smaltimento dei rifiuti sono evolute e cambiate nel tempo. Non è infrequente trovarsi di fronte allo spandimento di polveri, liquidi, scorie e fanghi direttamente su terreni incolti o peggio ancora agricoli.
- ❑ Riuscire a individuare le modificazioni della superficie del piano campagna dovute a un rimaneggiamento del terreno, non giustificato dalla messa in produzione di una determinata coltura, può risultare estremamente utile.
- ❑ In questo può venire in aiuto la tecnica dell'interferometria SAR.
- ❑ Le informazioni ricavate dalle immagini satellitari, da foto aeree o da ricognizione con elicottero necessitano comunque di verifiche e approfondimenti che devono essere eseguiti tramite **rilievi geofisici a terra**.

Termografia

- ❑ Un'altra tecnica di indagine non distruttiva, applicata anche in campo ambientale è la **Termografia**.
- ❑ Questa si basa sulla misura delle radiazioni infrarosse emesse da un corpo (che deriva dall'emissione delle superfici a causa della loro temperatura assoluta) ed è in grado di determinarne la temperatura superficiale.
- ❑ Gli strumenti che si utilizzano sono delle **termocamere** che rilevano a distanza l'energia infrarossa convertendola in immagini nelle quali a diversi colori corrispondono diverse temperature. Quelle più moderne, oltre ad essere ridotte in dimensioni, quindi portatili, possono essere montate anche su supporti mobili (droni, aerei o elicotteri) **ampliando il loro campo di applicabilità**.
- ❑ I migliori risultati si ottengono acquisendo le immagini **in assenza di radiazione solare diretta**, quindi prima dell'alba o dopo il tramonto, in modo tale da ridurre le fonti di rumore.

Termografia

- ❑ In campo ambientale, il segnale che viene interpretato come **anomalia termica** può essere ricondotto a reazioni chimiche di elementi presenti nei rifiuti, da fughe di biogas dalle discariche, dal ristagno o dal ruscellamento di percolato, ecc.
- ❑ Affinché dei rifiuti interrati producano anomalie termiche è però **necessario che producano calore** e questa è la condizione meno frequente.
- ❑ Questa tecnica risulta invece **piuttosto efficace nell'individuazione di scarichi illegali**, nel monitorare sversamenti di fluidi, nella verifica di immissione di acque reflue in fiumi, laghi o mare, quando questi presentano temperature differenti del corpo ricevente.

Termografia

- ❑ Mentre risulta piuttosto semplice acquisire delle immagini con le termocamere, è più **complesso interpretarne i risultati**.
- ❑ Quando si utilizzano segnali acquisiti nell'infrarosso, sia da telecamera portatile, sia da aereo o da satellite, l'analisi del segnale richiede una serie di **informazioni al contorno** per evitare di individuare falsi positivi e segnalare criticità non reali.
- ❑ Per questo i **risultati andrebbero sempre verificati con misure geofisiche a terra**.

Le principali tecniche di esplorazione del sottosuolo

- ❑ Tra i metodi geofisici esistenti per lo studio e l'esplorazione del sottosuolo, quelli che trovano una maggiore applicabilità nelle problematiche legate **all'inquinamento sotterraneo** e **all'occultamento di rifiuti** sono i metodi:
 - Magnetici
 - Geoelettrici
 - Elettromagnetici,
- ❑spesso **utilizzati insieme** per aumentare il potere risolutivo dell'indagine stessa.

Metodo per impulsi elettromagnetici - Georadar

- ❑ Il **Georadar** o GPR (*Ground Penetrating Radar*) è uno strumento che permette di osservare il sottosuolo per mezzo dello studio della propagazione di impulsi elettromagnetici.
- ❑ Questi, emessi da un'antenna, si trasmettono nel terreno e subiscono delle riflessioni quando raggiungono l'interfaccia tra materiali che possiedono caratteristiche fisiche differenti.
- ❑ Le misure vengono eseguite da un operatore che **trascina sul terreno l'antenna** mentre su un apposito *display* osserva le varie riflessioni.
- ❑ Se la superficie da indagare risulta sufficientemente piana o se si opera su pavimentazioni di terra battuta o asfaltate si utilizza un **carrello con ruote** dove alloggia sia l'antenna che il display rendendo in questo modo più agevole la prospezione stessa.

Metodo per impulsi elettromagnetici - Georadar

- ❑ Un tipo di rappresentazione molto comune dei dati è quella delle *time slice*, o **sezioni temporali**, dove il terreno viene "sezionato" a varie profondità attraverso piani bidimensionali.
- ❑ Si rappresenta così una determinata riflessione a una certa profondità e si visualizzano molto chiaramente i vari *target* individuati, la loro estensione areale e lo spessore.
- ❑ Generalmente si utilizzano **antenne con frequenze da 15 a 1500 MHz** che consentono di esplorare il sottosuolo a varia profondità con differente risoluzione. Teoricamente più è bassa la frequenza maggiore è la penetrazione delle onde, mentre diminuisce il potere risolutivo. Nel campo dei **controlli non distruttivi**, come l'analisi di murature, si utilizzano piccole lunghezze d'onda associate ad alte frequenze, generalmente 1 GHz o superiori. Nel campo della geologia e nello studio delle discontinuità sotterranee si utilizzano invece antenne da 100 MHz o inferiori. In **campo ambientale** quelle maggiormente utilizzate sono da 200 e 400 MHz.

Metodo per impulsi elettromagnetici - Georadar

- ❑ La **limitazione principale** all'impiego del georadar è la presenza di terreni a conducibilità elettrica alta che tendono ad assorbire notevolmente gli impulsi elettromagnetici (es. terreni argillosi).
- ❑ Le condizioni geo ambientali ottimali sono quindi le **formazioni asciutte**, piuttosto resistive, le rocce compatte, il ghiaccio. La **profondità di penetrazione**, funzione diretta della conducibilità del mezzo e della frequenza dell' onda trasmessa, **può variare da pochi centimetri a circa 6-7 metri**.
- ❑ Alcune delle applicazioni ambientali tipiche del geo radar riguardano **l'individuazione nel sottosuolo di corpi** come: fusti anche non metallici, serbatoi, cisterne, strutture sepolte, oggetti interrati, depositi di rifiuti, eternit, cavità, tubazioni, sottoservizi, disomogeneità strutturali. Ricerche possono essere eseguite anche in **aree antropizzate** dove altre tecniche, come ad esempio la magnetometria non possono essere utilizzate.

Metodo per impulsi elettromagnetici - Georadar

- ❑ Risulta molto utile infatti, se non addirittura fondamentale, nello **studio del terreno sottostante piattaforme di cemento** anche quando presente il rinforzo con rete elettrosaldata, **sotto la pavimentazione di capannoni industriali**, intorno a edifici, nelle aree industriali, nelle strade asfaltate o nei piazzali in terra battuta.
- ❑ In alcuni casi può essere utilizzato anche per **definire i limiti delle discariche sepolte**.



Metodo Geoelettrico

- ❑ Il **metodo geoelettrico** si basa sullo studio della risposta del sottosuolo al passaggio di una corrente elettrica che viene immessa in superficie tramite degli elettrodi.
- ❑ Le misure sono finalizzate principalmente alla **determinazione della resistività del terreno**, o meglio a costruire dei modelli di resistività attraverso un processo di inversione dei dati acquisiti in campagna.
- ❑ Nelle applicazioni ambientali si utilizza la tecnica della **tomografia elettrica** dove l'indagine viene realizzata mediante numerosi picchetti in acciaio (48, 64 o più) posizionati lungo profili. Questi operano alternativamente come elettrodi di corrente o di potenziale e le misure vengono eseguite in base a una sequenza programmata. I *software* di elaborazione restituiscono poi i valori di resistività a differenti profondità lungo il profilo stesso.

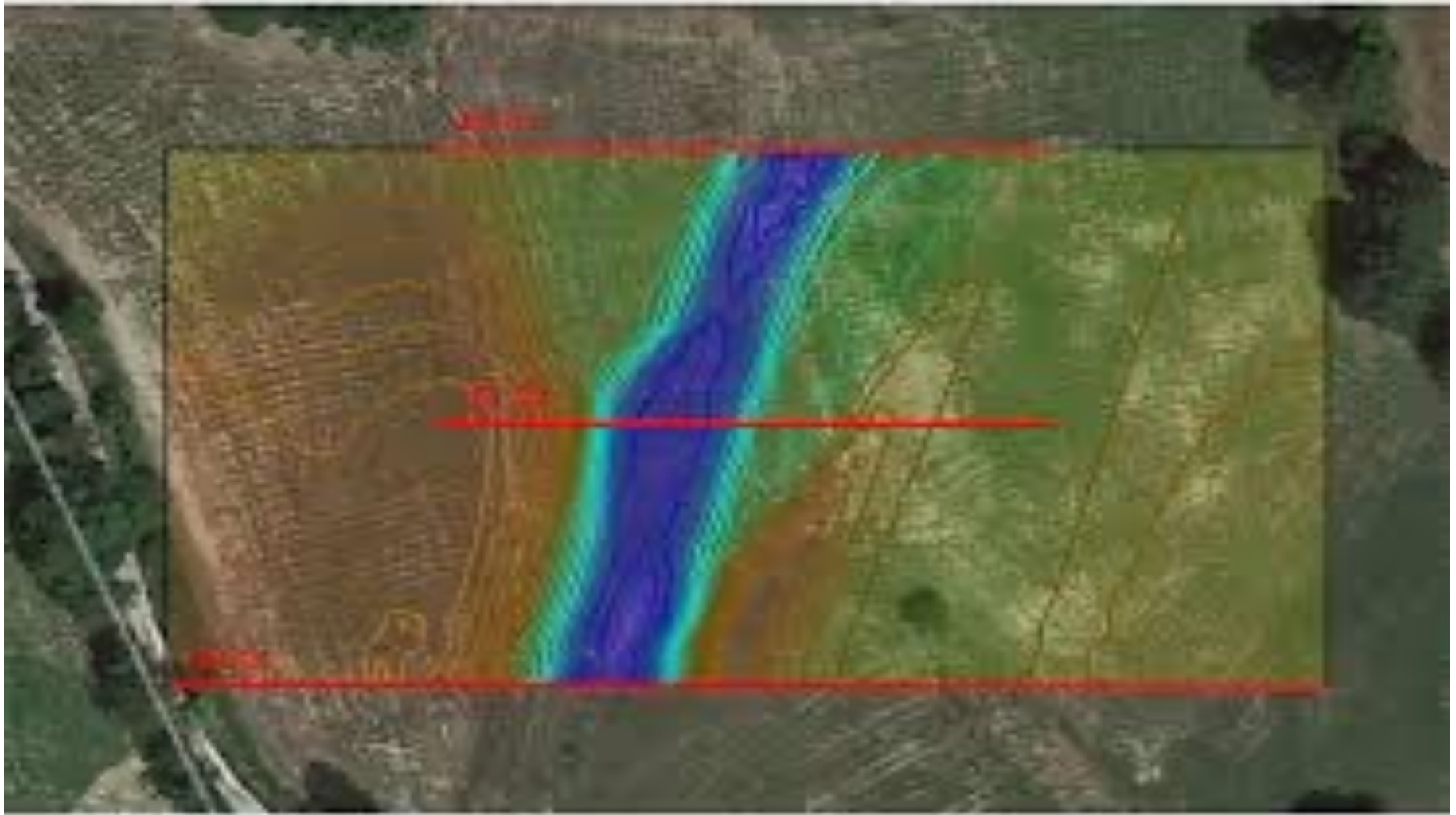
Metodo Geoelettrico

- ❑ I risultati sono generalmente mostrati tramite **sezioni bidimensionali** che rappresentano l'assetto elettrostratigrafico del sottosuolo.
- ❑ I vari *range* di valori sono rappresentati secondo una scala di colori (per convenzione in rosso le resistività più alte, in blu quelle più basse).
- ❑ La **profondità di esplorazione**, che nelle applicazioni ambientali può **variare da alcuni metri a parecchie decine di metri**, dipende dalla lunghezza totale dello stendimento elettrodico messo in campo.
- ❑ Recentemente sono state sviluppate tecniche di acquisizione tridimensionali (3D) e le **misure possono essere effettuate secondo geometrie non convenzionali** (disposizione degli elettrodi secondo rettangoli, quadrati, cerchi ecc.). Ciò consente una ricostruzione più accurata delle caratteristiche elettriche del sottosuolo, la definizione dei volumi delle masse interrate (rifiuti) così come la diffusione di alcuni tipi di inquinanti.

Metodo Geoelettrico

- ❑ Le tecniche di investigazione di tipo geoelettrico offrono quindi un ampio spettro di applicazioni in campo ambientale come lo **studio delle discariche dismesse o abusive e del percolato ivi presente**, la **verifica della tenuta o delle perdite a seguito della lacerazione dei teli impermeabilizzanti**, la **definizione dello spessore e del perimetro degli ammassi di rifiuti interrati**.
- ❑ Consentono inoltre di **orientare l'ubicazione dei sondaggi per il prelievo di campioni significativi** in presenza di inquinanti.

Metodo Geoelettrico



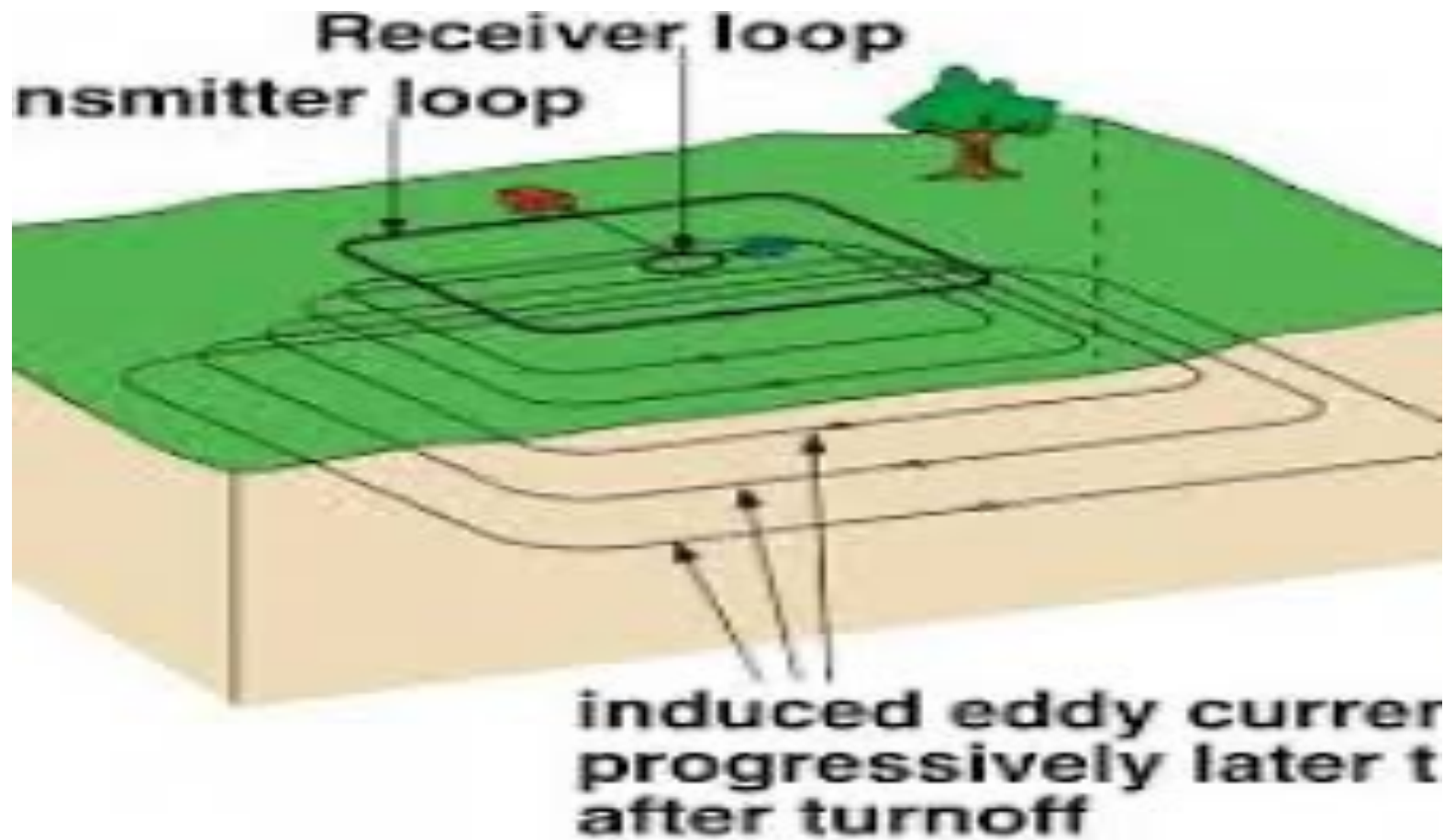
Metodo elettromagnetico

- ❑ Il metodo elettromagnetico nel dominio della frequenza, **FDEM** (*Frequency Domain Electro-Magnetic*) si basa sul principio dell'induzione elettromagnetica in un semispazio omogeneo.
- ❑ Una bobina trasmittente genera un campo magnetico primario che si propaga nel sottosuolo. Questo campo magnetico variabile, attraversando un conduttore (il terreno) induce in esso delle correnti elettriche che si propagano nel mezzo generando un campo magnetico secondario, rilevato in superficie da una bobina posta a una distanza fissa da quella trasmittente.
- ❑ Il campo secondario avrà una differenza di fase rispetto al campo magnetico primario dipendente dalla conducibilità del terreno.
- ❑ Dall'analisi del loro rapporto si ottengono quindi delle informazioni sulle proprietà elettriche del sottosuolo.

Metodo elettromagnetico

- ❑ Questi strumenti **non hanno la necessità del contatto con il terreno** e vengono **trasportati agevolmente** da un operatore. Alcuni operano a frequenza di trasmissione fissa, altri possono impiegare più frequenze contemporaneamente.
- ❑ Le misure vengono effettuate lungo profili paralleli (griglie di acquisizione regolari) cercando di coprire l'area di studio in maniera omogenea. La **profondità massima di esplorazione è di 4-6 metri**.
- ❑ Il risultato di un rilievo FDEM è restituito sotto forma di **mappe tematiche**.
- ❑ In campo ambientale sono di regola impiegati nelle **prospezioni superficiali finalizzate alla ricerca di rifiuti interrati e di alcune forme di inquinamento**. Con tale tecnica è infatti possibile **localizzare rifiuti eterogenei**, individuare contrasti di conducibilità nel terreno così come perdite e diffusione di fluidi da tubazioni.

Metodo elettromagnetico



Magnetometria

- ❑ La **magnetometria** è una delle tecniche geofisiche maggiormente utilizzate nella **ricerca di rifiuti nel sottosuolo**, in particolare di quelli costituiti da **materiali ferromagnetici** e si basa sull'impiego di magnetometri, con i quali è possibile misurare le variazioni spaziali del campo magnetico terrestre.
- ❑ Oggetti interrati come fusti, rottami metallici, elettrodomestici ecc., possedendo proprietà ferromagnetiche producono una deformazione del campo di origine naturale che risulta essere **tanto più intensa quanto maggiore è la loro massa e minore la distanza dal punto di osservazione**.
- ❑ L'**anomalia magnetica** è quindi la differenza tra il valore del campo magnetico terrestre misurato in un punto e il valore normale per quell'area.

Magnetometria

- ❑ Gli **smaltimenti illegali** sono di norma **poco profondi** (3-5 m) e se i terreni presentano deboli proprietà magnetiche la risposta a questa tecnica geofisica risulta piuttosto soddisfacente con nette anomalie osservabili in superficie.
- ❑ Poiché è stato accertato che i rifiuti molto spesso sono frammisti a materiale ferroso, **partendo dalla ricerca di quest'ultimo è possibile rinvenire occultamenti di materiali anche pericolosi**, ma non necessariamente ferromagnetici.
- ❑ I magnetometri vengono impiegati **congiuntamente a dei ricevitori satellitari GPS** in modo da ricostruire con precisione la posizione dell'operatore in movimento sul terreno e quindi delle misure effettuate.
- ❑ L'impiego del magnetometro nella ricerca dei rifiuti interrati viene anche riportato nel *Pollution Crime Forensic Investigation Manual*, INTERPOL (*Environmental Security Sub-Directorate, Vol. I, pagg.60-61, 2014*).

Magnetometria

- ❑ È fondamentale **saper interpretare il dato geofisico, riconoscere le anomalie prodotte dai vari materiali** che possiamo trovare smaltiti nel terreno come i cumuli di rottami ferrosi, di elettrodomestici, di pneumatici, di demolizioni edilizie.
- ❑ Quelle generate da **fusti interrati** generalmente presentano una forma ben definita, una morfologia dipolare, sono orientate Sud-Nord e risaltano nettamente dal terreno naturale inglobante ma nello stesso tempo sono **molto simili a quelle prodotte da cumuli di pneumatici**.
- ❑ Inoltre, dalla lettura delle carte magnetiche si possono desumere importanti informazioni per **stimare la profondità degli ammassi** e per definire il punto centrale delle anomalie (sotto la cui verticale questi sono ubicati), **in modo da orientare i successivi scavi di verifica** ed evitare il danneggiamento dei materiali interrati.

Magnetometria

- ❑ Tra gli obiettivi che si possono raggiungere con le prospezioni magnetometriche va annoverata sia la ricerca e la localizzazione di materiale ferroso nel sottosuolo ma anche **l'esclusione della presenza di quest'ultimo**. Nei casi in cui si abbiano dei sospetti di occultamenti infatti questo tipo di indagine può fornire in **tempi molto rapidi** informazioni sull'eventuale presenza di **discariche interrato** o di **materiali ferrosi sepolti** senza dover intervenire con lunghi e costosi scavi soprattutto nelle aree di dimensioni importanti.
- ❑ Le **principali applicazioni della magnetometria in campo ambientale** quindi riguardano la ricerca e la localizzazione di fusti interrati, di oggetti ferromagnetici, l'individuazione di cumuli di rifiuti eterogenei, la localizzazione e la definizione spaziale di vecchie discariche di R.S.U. per le quali non si hanno più molte informazioni.

Magnetometria

- ❑ Infatti, è stato osservato che in questi ammassi di materiali eterogenei, derivanti dalle produzioni urbane, sono in parte presenti quantitativi di materiali ferrosi che conferiscono all'intero corpo proprietà magnetiche che può essere facilmente definito con tale tecnica.
- ❑ Un ulteriore valido contributo che questa tecnica geofisica può fornire riguarda la **verifica dell'avvenuto completo ripristino ambientale**, laddove ad esempio sia prevista la rimozione dal sottosuolo di tutte le strutture esistenti precedentemente (sottoservizi, tubazioni, pozzi rivestiti ecc.).
- ❑ È naturalmente anche possibile, operando con dei **battelli**, eseguire rilievi magnetometrici su bacini o corsi d'acqua al fine di verificare la **presenza sul fondo di rifiuti di natura ferromagnetica**.

Magnetometria

In sintesi, dunque:

- ❑ nella **ricerca di fusti metallici interrati** sono molto efficaci le tecniche magnetiche, elettromagnetiche e geo radar, ma mentre nel primo caso la profondità di rinvenimento dipende sostanzialmente dalla quantità dei materiali presenti, per gli altri due questa è fisicamente limitata rispettivamente a 2-3 metri e 4-5 metri circa.
- ❑ nel caso di una **discarica di materiali eterogenei** la geoelettrica (intesa come tomografia) consente di delimitare gli interramenti e fornisce una stima sulle volumetrie interessate e sulle profondità.
- ❑ per la **ricerca di fluidi nel sottosuolo o in discarica** la tecnica geofisica più efficace è la geoelettrica,
- ❑ per **individuare materiali occultati sotto pavimentazioni di cemento armato o nei terreni all'interno di aree industriali** si rivela particolarmente utile il georadar, purché la profondità di questi non vada oltre i 4-5 metri.

Magnetometria

TABELLA – RIFIUTI E TECNICHE GEOFISICHE PIÙ IDONEE

Tipologia rifiuto	Ubicazione del rifiuto	Metodo magnetico	Metodo geo elettrico	Metodo impulsi e.m. (Georadar)	Metodo induzione e.m.	Efficacia
Fusti metallici	Terreno Acqua Discarica Sotto pavimen- tazioni	X X X		X ^(a) X ^(a)	X ^(a)	Elevata Elevata Discreta Elevata
Fusti plastica/resina	Terreno Sotto pavimen- tazioni			X ^(a) X ^(a)		Buona Buona
Scorie, polveri, fanghi, idro-carburi, fluidi	Terreno		X		X ^(a)	Buona
Rifiuti vari, urbani, speciali	Terreno	X ^(*)	 X ^(b)	 X ^(a)	 X ^(a)	Elevata Buona Buona
Serbatoi, cisterne, strutture sot-terranee	Terreno Sotto pavimen- tazioni	X ^(c)		X ^(a) X ^(a)	X ^(a)	Elevata Elevata
Presenza o perdite di percolato	Discarica		X			Elevata
Lastre di Eternit	Terreno Sotto pavimen- tazioni	X ^(*)		X ^(a) X ^(a)		Buona Buona

^(a)profondità limitata ^(b) Valutazione dimensioni masse ^(c)Se ferrosi ^(*)Se associati a rifiuti ferrosi

Il modus procedendi

- ❑ La pianificazione di un intervento sul territorio ha inizio con l'analisi delle proprietà fisiche dell'oggetto da ricercare per stabilire la metodologia di prospezione più opportuna, tenendo presente che **non esiste una tecnica "universale" applicabile in ogni contesto**: una ricerca di fusti metallici è ovviamente ben diversa da quella di fluidi o scorie nel sottosuolo.
- ❑ Scelta quindi quella più adeguata **bisogna verificarne la possibilità di applicazione nel contesto ambientale in cui si andrà a operare.**
- ❑ Questa è una fase decisionale molto importante dove si cerca di raccogliere il maggior numero di informazioni sull' oggetto della ricerca e sulle peculiarità ambientali del sito; se queste non fossero sufficienti, si può pianificare un sopralluogo sul sito sospetto oppure, **quando le indagini richiedono particolare "discrezione"**, effettuare un sorvolo con un elicottero o con un drone.

Il modus procedendi

- ❑ Quando è possibile operare con la tecnica prescelta si esegue il rilievo, si elaborano i dati acquisiti e si analizzano i risultati.
- ❑ Possiamo aspettarci sostanzialmente tre tipi di risposte:
 - **positiva**, i segnali registrati ci indirizzano verso l'oggetto della ricerca
 - **negativa**, cioè non si trova riscontro della presenza del *target* segnalato
 - **incerta**.
- ❑ Nel primo caso di solito si procede con l'accertamento diretto, cioè con lo scavo ubicato in corrispondenza delle zone critiche individuate dai rilievi, si osservano le masse responsabili delle anomalie misurate e si eseguono i campionamenti del terreno e dei rifiuti.
- ❑ Nel secondo si rivalutano le informazioni a disposizione, e nella maggior parte dei casi, si conclude l'accertamento su quel sito.

Il modus procedendi

- ❑ Laddove invece i risultati risultino incerti, cioè le misure eseguite non offrano un significativo contributo per l'individuazione di un particolare *target* si può intervenire con l'integrazione di altre tecniche geofisiche. Se anche queste si rivelassero non risolutive si potrà prendere in considerazione la possibilità di procedere ugualmente con l'accertamento diretto mediante trincee o sondaggi.
- ❑ Una delle fasi più delicate delle indagini geofisiche risiede **nell'interpretazione del dato acquisito**. Infatti, mentre può risultare relativamente semplice ottenere dei buoni dati geofisici in campagna, particolare cura deve essere posta nell'elaborazione ma soprattutto nella loro interpretazione.

Come scegliere il c.t. od il perito?

La scelta del c.t. o del perito: quid iuris?

- ❑ La scelta del professionista è quindi fondamentale così come la sua esperienza maturata nell' affrontare decine di casi differenti nella sua storia professionale.
- ❑ Associare un tipo di segnale o attribuire una determinata anomalia a masse o strutture nel sottosuolo costituisce la parte critica del lavoro.
- ❑ Tale figura potrà essere ricoperta da un **geologo**, un **ingegnere** o un **fisico**, esperti in geofisica e in prospezioni a fini ambientali.
- ❑ Oltre al *curriculum*, potrebbe essere determinante valutare la particolarità degli interventi svolti sul territorio ma soprattutto i riscontri oggettivi forniti dalle indagini dirette.

La ripetibilità dei rilievi geofisici

- ❑ Un aspetto molto importante sul quale è opportuno soffermarsi riguarda la **ripetibilità nel tempo** dei rilievi geofisici.
- ❑ Ricordando che si tratta di misure di tipo **indiretto**, non è possibile, basandosi solo sui risultati da questi ottenuti capire cosa sia stato occultato nel sottosuolo e quindi non si può prescindere dall'accertamento diretto, cioè dallo scavo.
- ❑ Nei casi in cui questo però non sia stato ancora eseguito, potrebbe accadere di **dover esaminare perizie redatte in tempi differenti o da diversi consulenti e i risultati in qualche modo differire.**

Domande:

In che misura queste sono confrontabili?

Quali potrebbero essere i requisiti minimi affinché tale operazione risulti ragionevole?

La ripetibilità dei rilievi geofisici

- ❑ Innanzitutto, è necessario **verificare se i rilievi siano stati eseguiti con le stesse tecniche geofisiche** e in questo caso **analizzare e confrontare le modalità di acquisizione dei dati**.

Vediamo qualche esempio.

- ❑ Nel caso in cui due mappe magnetiche, realizzate sullo stesso sito, risultassero piuttosto differenti, si dovrebbe prestare più attenzione alla densità delle misure effettuate che alla sensibilità dello strumento utilizzato. Per poter costruire correttamente la morfologia di una determinata anomalia magnetica infatti questa deve essere **campionata**, cioè misurata, con un opportuno numero di punti. Da valutare quindi se la spaziatura delle linee di misura e il passo di acquisizione siano stati sufficienti a metterla in evidenza. Se ad esempio un corpo ferromagnetico interrato produce un'anomalia di dimensioni di 25mq, eseguire un rilievo con spaziatura tra le linee di 10 m potrebbe non essere adeguato a intercettare quell'anomalia o quantomeno a definirla compiutamente.

La ripetibilità dei rilievi geofisici

- ❑ Se il terreno non viene rimaneggiato, la carta magnetica dell'area, riprodotta negli anni, presenterà le stesse caratteristiche, anche impiegando strumenti di Ditte costruttrici differenti.
- ❑ Le variazioni, entro certi limiti, potranno riguardare l'intensità delle anomalie, che dipende dalle modalità operative di esecuzione delle misure (come l'altezza sensore da terra) e la loro forma, funzione anche della densità delle acquisizioni.
- ❑ In ogni modo tutte le mappe realizzate su quell'area riporteranno anomalie magnetiche simili ubicate negli stessi settori.

La ripetibilità dei rilievi geofisici

- ❑ Per quanto riguarda i **rilievi eseguiti con il georadar** invece è fondamentale verificare la frequenza delle antenne utilizzate nella prospezione (si ricorda che anche da questa dipende la profondità di penetrazione così come la capacità di "rilevare" un oggetto con determinate dimensioni). In tali misure, di tipo elettromagnetico, in generale possiamo dire che le iperboli e le riflessioni osservate in tempi differenti saranno sostanzialmente simili, se impiegate antenne a frequenza analoga e rimanendo invariate le caratteristiche del terreno.
- ❑ Contrariamente, **significative variazioni di umidità del terreno** potrebbero modificare i segnali trasmessi e riflessi in modo tale da influire sul confronto dei rilievi stessi.

La ripetibilità dei rilievi geofisici

- ❑ Nella **tomografia elettrica** la comparazione tra sezioni elettrostratigrafiche andrebbe fatta osservando la configurazione elettroica adottata (generalmente di tipo Dipolo-Dipolo o *Wenner-Schlumberger*), l'interdistanza tra gli elettrodi e soprattutto le profondità raggiunte dal modello interpretativo.
- ❑ Nell' ambito delle misure di tomografia elettrica e di induzione elettromagnetica, essendo queste collegate alla conducibilità del terreno, le mappe o le sezioni rappresentative, ripetute nel tempo, potrebbero risultare differenti se intervengono significative variazioni di umidità nel sottosuolo.
- ❑ Per quanto riguarda invece le **discariche di RSU** può variare, nell' arco degli anni, la quantità e la distribuzione del percolato in esse contenuto a seguito dell' entità degli emungimenti oppure di condizioni meteo particolarmente sfavorevoli.

La ripetibilità dei rilievi geofisici

In conclusione, quindi:

- ❑ nel confrontare indagini geofisiche eseguite su uno stesso sito, è consigliabile prestare attenzione alle **modalità di acquisizione** e alle **eventuali variazioni nell' assetto del sottosuolo** perché, a seconda della metodologia geofisica impiegata, potrebbe esserci una differenza nei risultati.

Scavo: carotaggi e trincee, quando disporli?

- ❑ I dati geofisici, acquisiti in campo, vengono rappresentati tramite **mappe tematiche** dove sono riportate le aree anomale o quantomeno sospette.
- ❑ Queste carte costituiscono una **grande fonte di informazioni**.
- ❑ Infatti, dalla loro attenta lettura e interpretazione si possono trarre indicazioni **sull'ubicazione** e sulle **dimensioni** degli interramenti, formulare **ipotesi sulla natura dei materiali** presenti, comprendere se il terreno sia stato oggetto di rimaneggiamento.
- ❑ Inoltre, forniscono indicazioni su **dove eseguire** gli scavi o i carotaggi.

Scavo: carotaggi e trincee, quando disporli?

- ❑ Se a seguito di una indagine magnetica o georadar sono emerse **anomalie** tali da far ipotizzare la **presenza di fusti interrati** è assolutamente consigliabile procedere con delle **trincee**.
- ❑ Il sondaggio potrebbe non intercettarli o peggio ancora perforarli causando la fuoriuscita del materiale in essi contenuto.
- ❑ Nei casi in cui rilievi a induzione elettromagnetica o indagini elettrotomografiche invece abbiano evidenziato **zone con netti contrasti di conducibilità nel sotto suolo** sarà opportuno eseguire in corrispondenza di tali settori dei **carotaggi** con prelievo di campioni.

Domanda:

È indifferente operare con i carotaggi o con le trincee?

Scavo: carotaggi e trincee, quando disporli?

- ❑ Generalmente la tendenza è di eseguire i **carotaggi**, soprattutto perché hanno il vantaggio di interessare modesti quantitativi di terra potenzialmente contaminata (le sole carote estratte).
- ❑ Le **trincee** invece causano il movimento di numerosi metri cubi di terreno. Il grande vantaggio di queste ultime però risiede nel fatto che consentono una immediata visione del sottosuolo, della stratigrafia, dei rifiuti responsabili delle anomalie individuate dalla geofisica ma anche di altri materiali ad essi associati.
- ❑ Il compito di campionare il terreno e i rifiuti per le necessarie analisi chimiche viene poi affidato al personale tecnico delle Agenzie regionali per la protezione ambientale (**ARPA**) che dovrebbe sempre essere presente in questa fase.

La collaborazione tra INGV e le FF.PP.

- ❑ L'Istituto Nazionale di Geofisica di allora (oggi INGV) sin dagli anni 90 ha messo a disposizione la propria esperienza nell'esplorazione geofisica del sottosuolo per la **ricerca dei rifiuti interrati**, aprendo, di fatto, un proprio fronte di ricerca oltre che di servizio per le forze di polizia e per la Magistratura.
- ❑ L'Istituto ha sperimentato nel tempo tecniche volte a **ottenere una sempre migliore caratterizzazione del sottosuolo** anche mediante la realizzazione di siti test e affinate quelle per l'elaborazione dei dati.
- ❑ Ma soprattutto grazie alla possibilità di osservare, tramite gli scavi, i rifiuti interrati che è stata acquisita una **grande esperienza nell'interpretazione delle anomalie**.

La collaborazione tra INGV e le FF.PP.

- ❑ A partire dal 2008 una importante novità ha rivoluzionato le ricerche sul territorio.
- ❑ Le forze di polizia ambientale di allora si sono dotate di strumentazione geofisica, in particolare di **magnetometri** da impiegare nella: ricerca di rifiuti ferrosi interrati. In virtù di una nuova Convenzione sono state addestrate, in più fasi, oltre 100 unità di personale appartenente all'ex Corpo Forestale dello Stato (CFS) e all'ex Nucleo Operativo Ecologico dei Carabinieri (NOE) sull'uso dello strumento in campo e sulla corretta esecuzione di un rilievo geofisico.
- ❑ Da allora i dati acquisiti dai Forestali e dai Carabinieri sui siti sospetti sono stati **sempre trasmessi ad una sala operativa presso l'INGV di Roma** per essere validati, analizzati e rappresentati mediante apposite cartografie da esperti geofisici e le criticità o le zone anomale, emerse dai rilievi, segnalate agli inquirenti e all' autorità giudiziaria tramite la stesura di un rapporto tecnico.

Grazie dell'attenzione