

**GEOFISICA APPLICATA ALLA RISOLUZIONE
DI PROBLEMATICHE AMBIENTALI:
RICERCA DI FUSTI METALLICI IN UNA DISCARICA DISMESSA
di Antonio Menghini, Giuseppe Pagano & Stefano Floris (S.Te.G.A.)**

Tratto da "Geologia dell'Ambiente" n°2/1999

PREMESSA

Uno dei settori più recenti ed interessanti di applicazione delle tecniche geofisiche in campo ambientale, è costituito dalla ricerca di fusti metallici interrati, un obiettivo di primaria importanza nella bonifica delle discariche dismesse, o di quelle abusive, e nel recupero delle aree degradate. Sino a poco tempo fa il metodo maggiormente utilizzato era quello magnetico che, grazie alla configurazione gradiometrica, è in grado di individuare la presenza di corpi anomali di natura metallica. Recentemente però, i rapidi progressi della microelettronica, hanno consentito un sempre più diffuso utilizzo dei metodi elettromagnetici, sia nel dominio della frequenza che del tempo, grazie ai quali si possono ottenere informazioni più dettagliate e risolutive per questo tipo particolare di ricerca. Il presente lavoro mostra appunto una comparazione tra i due metodi geofisici, integrata da una prospezione di tipo radiometrico.

L'indagine geofisica è stata condotta presso una discarica dismessa di inerti, nel settore Nord orientale della Provincia di Roma ed era finalizzata all'individuazione di eventuali fusti metallici sepolti ed alla rilevazione della radioattività dei rifiuti. A tale scopo sono state utilizzate le seguenti metodologie di indagine:

- elettromagnetismo nel dominio del tempo
- magnetometria in configurazione gradiometrica
- radiometria per la rilevazione della radiazione gamma.

L'area è stata precedentemente picchettata, in modo da individuare sul terreno una serie di profili spaziatati di 4 metri; lungo gli stessi si è poi proceduto a rilevare i vari parametri geofisici, adottando di volta in volta un passo di misura differente. Nel complesso è stata indagata un'area di circa 14.000 mq.

METODO ELETTROMAGNETICO NEL DOMINIO DEL TEMPO

DESCRIZIONE DEL METODO

E' stato fatto uso di un metal detector ad alta sensibilità e risoluzione, EM61 Geonics; esso consta di un trasmettitore che genera un campo elettromagnetico primario, pulsante. La corrente inviata al loop trasmettente è costituita da una serie di "onde quadre"; nel momento in cui viene bruscamente annullata, dà luogo alla creazione di correnti indotte che si propagano nel sottosuolo. Queste, a loro volta, circolando nel terreno e negli eventuali corpi metallici (ferrosi e non), generano un campo elettromagnetico secondario che viene rilevato in superficie mediante la curva di decadimento del voltaggio (transiente), attraverso due bobine riceventi (coils) di 1 m di lato, montate ad altezze differenti nel dispositivo di misura, rispettivamente il top coil ed il bottom coil.

Loop e coils sono parte integrante di un carrello montato su ruote, che l'operatore trascina sul terreno da esplorare. Il decadimento del transiente è rapidissimo all'interno del terreno, poiché le correnti indotte tendono a migrare velocemente in profondità; quando invece incontrano corpi metallici, tendono a stazionare, per cui possono permanere anche per tempi relativamente lunghi, dopo che si è verificato il "turn-off" del campo primario. In effetti lo strumento è progettato in modo da campionare il transiente dopo tempi relativamente lunghi, per cui risulta del tutto trascurato ogni effetto dovuto al terreno naturale. Per tale motivo esso si rivela particolarmente

efficace nella ricerca dei corpi metallici, ferrosi e non, indipendentemente dalla conducibilità elettrica del terreno circostante.

La capacità di risoluzione dello strumento è molto elevata, dato che è possibile effettuare misure con un passo molto stretto (circa 20 cm), grazie ad un sistema di acquisizione automatica dei dati: un trigger collegato ad una delle ruote, mette automaticamente in comunicazione il logger (che immagazzina i dati) con i due coils. La scelta poi di un'adeguata spaziatura tra le linee di prospezione, fa sì che la densità delle stazioni di misura sia elevatissima, di molto superiore a qualsiasi altra tecnica di investigazione. Altro fondamentale vantaggio dell'EM61, risiede nella ridottissima influenza da parte di strutture metalliche superficiali (condotte, edifici, macchinari) e di linee elettriche, per cui può operare tranquillamente anche in zone fortemente antropizzate.

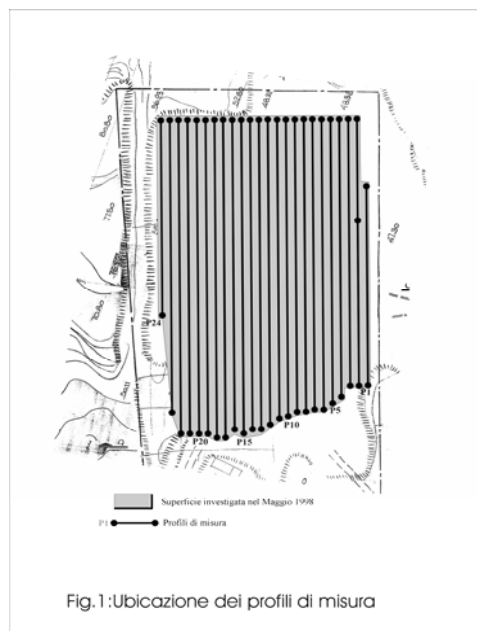
La lettura del voltaggio (in mV) ai due sensori permette di ricavare le seguenti informazioni:

- canale T (voltaggio al top coil)
- canale B (voltaggio al bottom coil)
- canale D (differenza tra T e B)

In casi particolari, dove esistono problemi di interferenza con linee elettriche ad alta tensione, o comunque dove il rumore di fondo è molto elevato, si può ricorrere ad un quarto canale N, dato dalla differenza normalizzata tra T e B, secondo la relazione: $N = 0,28 T - B$. In questo modo i due coils lavorano con lo stesso guadagno di segnale, per cui risultano influenzati allo stesso modo da disturbi esterni: sottraendo i due segnali si rimuove così il rumore di fondo. Un aspetto tutt'altro che trascurabile di questa tecnica innovativa, sta nel ridottissimo costo di esecuzione delle indagini, grazie alla estrema manovrabilità e produttività della strumentazione; basti pensare che, in aree fortemente antropizzate, con presenza di numerosi servizi, edifici, ostacoli di varia natura, si riesce ad esplorare una superficie di circa 1 ha al giorno, con un dettaglio estremo, impensabile con le consuete tecniche di rilevamento di corpi metallici (magnetometro, georadar, conduttivimetro, etc.).

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

La prospezione elettromagnetica ha comportato la realizzazione di n°24 linee, spaziate di 4 metri (Fig.1), lungo le quali sono state effettuate misure di voltaggio con passo di circa 20 cm, per un totale di 15.128 stazioni.



Nella Fig.2 è riportato il contour dei valori di voltaggio letti al sensore superiore (canale T);

balza subito agli occhi il diverso comportamento del materiale in posto, il tufo presente sul margine destro della carta, nei confronti del materiale discaricato. Nel primo caso infatti, i valori di voltaggio sono prossimi allo zero (toni chiari), mentre per i rifiuti si notano numerosi picchi, di norma superiori ai 200 mV (toni scuri). E' evidente quindi che siamo in presenza di molti oggetti metallici, posti a piccola profondità dal p.c.

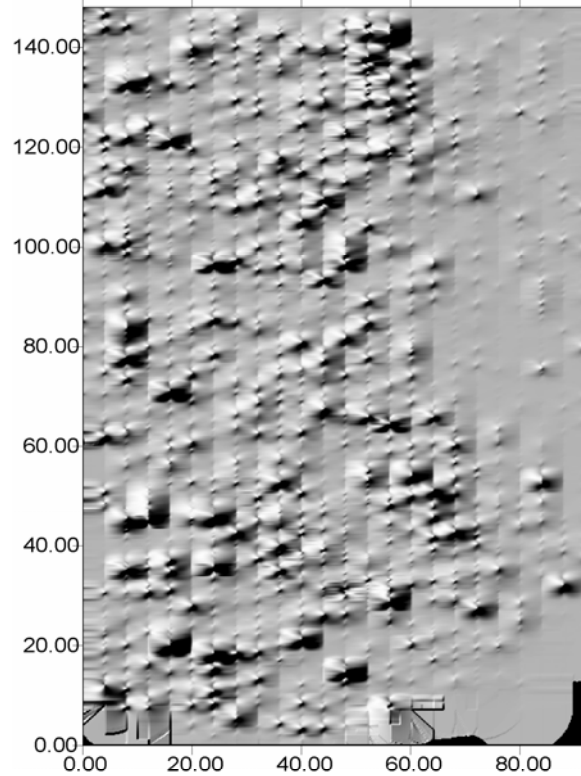


Fig.2 Valori di voltaggio (canale T)

Allo scopo di escludere gli oggetti emergenti, non sempre facilmente individuabili sul terreno, si è fatto ricorso ai valori del canale D (Fig.3); in questo modo infatti, l'effetto di corpi superficiali viene minimizzato poiché questi inducono valori di D prossimi allo zero, talora negativi. Il numero delle anomalie associate ad oggetti metallici si riduce notevolmente, come si può verificare dalla diminuzione dei toni scuri.

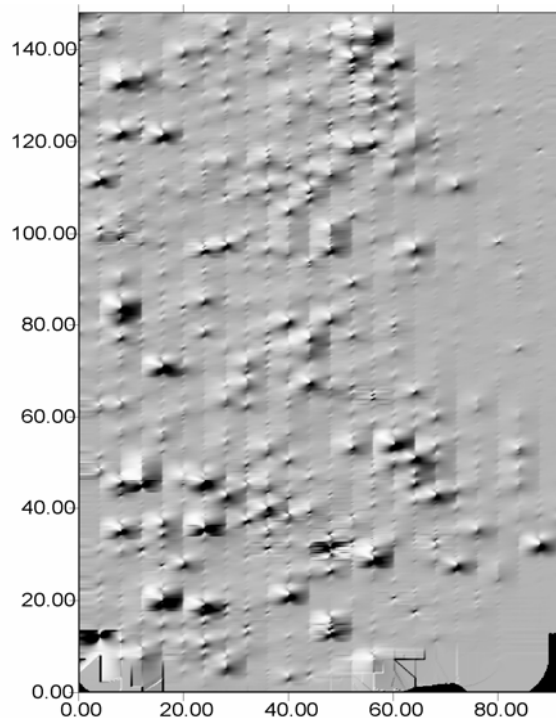


Fig.3 Valori di voltaggio (canale D)

In tutto è possibile riconoscere un totale di circa 120 corpi metallici, con una densità di circa 1 su 117 mq; si tratta di un valore tutto sommato basso, del tutto compatibile con la presenza sporadica di trovanti metallici, anche di ridotte dimensioni, che in qualche modo possono essere stati recapitati in discarica mescolati agli inerti.

Per quanto riguarda la profondità degli stessi è possibile distinguere, anche se in maniera approssimativa, quelli che giacciono a meno di 1 metro di profondità, da quelli che si trovano tra 1 e 3 m dal p.c.

La Fig.4 sintetizza le informazioni raccolte con l'EM61, riportando le anomalie associate a corpi posti a meno di 1 metro di profondità, contrassegnate dai toni scuri, mentre per le altre è stato utilizzato un tono più chiaro. E' evidente una certa preponderanza dei primi; considerando poi che, per corpi di dimensioni inferiori al metro, l'EM61 tende a sovrastimare la profondità, si può senz'altro affermare che la maggior parte degli oggetti metallici si trova a debole profondità, al massimo ad 1-1,5 m dal p.c.

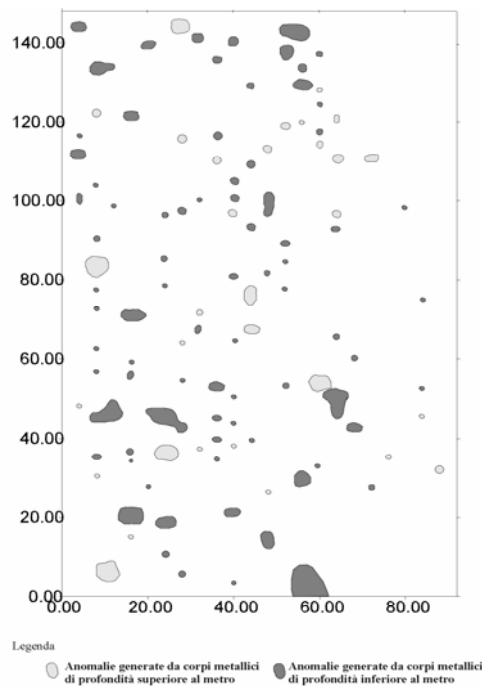


Fig.4: Ubicazione delle principali anomalie

Per quel che riguarda le dimensioni degli oggetti, si deve tener conto che la lunghezza d'onda delle anomalie è di norma compresa fra 1 e 8 metri; nel primo caso è possibile associare il valore a corpi di dimensioni ridotte, nell'ordine di qualche decimetro (piccoli rottami, fil di ferro, etc.). Nel secondo, le dimensioni del corpo perturbante possono giungere anche ai 4-6 metri; è importante rilevare comunque che tali anomalie possono essere prodotte anche da un gruppo di oggetti più piccoli, che interferiscono l'uno con l'altro.

Bisogna infine tener conto che per "dimensione" s'intende la proiezione orizzontale del corpo perturbante sul piano campagna, per cui un oggetto di grosse dimensioni, ma perfettamente verticale, che mostri verso l'alto solamente il suo lato minore, produrrà un'anomalia di piccola lunghezza d'onda.

Nell'intento di focalizzare l'attenzione sui corpi di dimensioni comparabili con quelle di un fusto metallico, riducendo così il numero degli oggetti metallici sospetti, si è proceduto a filtrare le anomalie, sulla base della loro lunghezza d'onda: innanzitutto sono state escluse quelle di dimensioni inferiori ai 2 m, poiché determinate con ogni probabilità da corpi di ridotte dimensioni. Il numero dei corpi metallici sospetti passa da 120 a 85, da cui consegue una densità di 1 ogni 165 mq.

A questo punto sono state discriminate le anomalie di lunghezza d'onda inferiore ai 5 metri, essendo quelle più probabilmente connesse ad eventuali fusti, singoli, o in gruppo. Va infatti tenuto conto del fatto che gran parte delle anomalie più grandi e allungate, è quasi sicuramente determinata dalla presenza di pali in cemento armato rotocompresso, che risultano recapitati con certezza in discarica.

Nel caso di un grosso insieme di fusti, sepolti ad esempio all'interno di uno scavo di dimensioni decametriche, è chiaro che l'anomalia prodotta sarebbe maggiore di 5 m, per cui la differenziazione adottata vale solamente per il singolo fusto, o per un gruppo di circa 3-6 unità.

Al termine di questa operazione di filtraggio, il numero di corpi sospetti scende a 46, con

una densità di 1 ogni 304 mq. Nella Fig.5 sono state indicate le anomalie di lunghezza d'onda inferiore (in scuro) o superiore (in chiaro) ai 5 m.

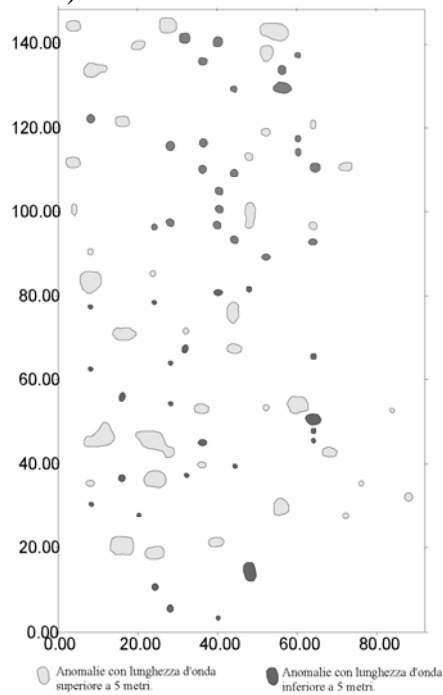


Fig.5: ubicazione delle principali anomalie

La possibilità che i corpi così individuati possano essere dei fusti metallici risulta, a parere degli scriventi, piuttosto bassa per due ordini di motivazioni:

- 1) la maggior parte di essi giace a piccola profondità,
- 2) la distribuzione delle anomalie è pressoché isotropa.

In effetti l'esperienza maturata in campo, in occasione di consulenze per la Pretura o la Procura della Repubblica, ha dimostrato che l'interramento di materiali anomali risulta, in genere, fatto non occasionale, a fronte del quale il seppellimento avviene in settori specifici della discarica ed a profondità non inferiori ai 2-4 metri.

METODO MAGNETICO

DESCRIZIONE DEL METODO

Per le ricerche di tipo ambientale è consigliabile l'utilizzo di un dispositivo gradiometrico. In questa metodologia si sfrutta il campo geomagnetico, rilevandone l'intensità totale (espressa in nanoTesla); in assenza di corpi perturbanti, l'intensità è proporzionale alla suscettività magnetica del terreno, che può variare a seconda della quantità di minerali ferromagnetici presenti nella roccia. In tal caso la magnetizzazione è prevalentemente "indotta", cioè determinata principalmente dal campo geomagnetico attuale.

La presenza invece di corpi metallici sepolti è segnalata da una netta prevalenza della magnetizzazione "permanente", vale a dire di quella componente che conserva traccia dell'effetto del campo geomagnetico presente al momento della formazione del corpo metallico. Al di sopra infatti di una temperatura critica (detta di Curie) i singoli dipoli presenti all'interno dei materiali ferromagnetici, tendono ad allinearsi parallelamente alla direzione del campo geomagnetico esistente in quell'attimo. Tale orientamento viene poi preservato, per cui il corpo metallico assume caratteristiche magnetiche del tutto differenti da quelle naturali: qualsiasi posizione di quel corpo, che non sia coincidente con quella che possedeva all'atto della fusione, determina una netta anomalia magnetica. Tale comportamento è tipico di tutti i manufatti cotti, quindi non solo di corpi metallici ma anche di vasellame, laterizi, etc. Anche le rocce vulcaniche (soprattutto colate laviche ed espandimenti ignimbrici), al momento del raffreddamento, presentano una magnetizzazione permanente. Le anomalie magnetiche strumentalmente rilevabili, sono quindi determinate dalla somma di questi due tipi di magnetizzazione: la indotta e la permanente.

Nella configurazione gradiometrica si misurano contemporaneamente le intensità del campo geomagnetico su due sensori disposti verticalmente lungo un'asta portante; la differenza tra i due valori (gradiente verticale) è indipendente quindi da corpi perturbanti relativamente lontani, estranei al tipo di ricerca. Per di più i due sensori, essendo posti a distanza ravvicinata non risentono di disturbi esterni, quali quelli derivanti da linee elettriche.

Il dispositivo utilizzato è costituito da due sensori a precessione di protoni, magnetometro Geometrics modello 856, con sensibilità di 0,1 gamma (nT). L'acquisizione dei dati è automatica, con memorizzazione digitale; la spaziatura tra i due sensori è stata fissata in 60 cm, con quello inferiore posto a 30 cm dal p.c.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Le misure gradiometriche sono state acquisite lungo n°30 linee, adottando una spaziatura di 4 metri e passo di misura tra le stazioni di 2 metri, per un totale di n°1818 registrazioni. Il gradiente verticale rappresenta la differenza tra il valore del campo geomagnetico rilevato al sensore inferiore (B) e quello letto al sensore superiore (T).

Nella Fig.6 si riporta la distribuzione orizzontale del gradiente verticale, dove i toni chiari stanno ad indicare valori pressoché nulli, quindi assenza di corpi perturbanti, i toni scuri valori negativi (sino a -1500 nT), quindi valori di T maggiori di B, o positivi (sino a 6500 nT), ovvero valori di B maggiori di T. Si nota innanzitutto, come per la prospezione elettromagnetica, la netta differenza tra il lato destro della carta, dove il terreno originario è presente a piccolissima profondità, nei confronti dell'area di discarica vera e propria: in questa le anomalie magnetiche sono frequentissime e di elevata ampiezza (tra 300 e 1000 nT). L'aspetto è molto simile a quello della Fig.2 che riporta i valori dell'EM61 al canale T; in effetti i valori positivi del gradiente stanno ad indicare la presenza di corpi metallici posti a piccola profondità, dato che il valore letto al sensore inferiore, che risente maggiormente dei corpi superficiali, è maggiore di quello del sensore superiore.

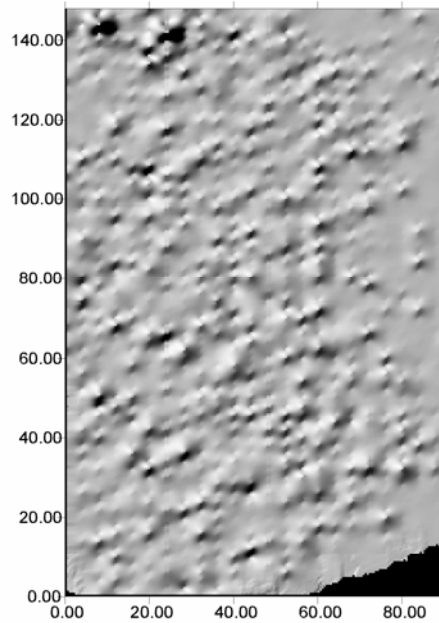


Fig.6: Valori del gradiente magnetico verticale

Il dispositivo gradiometrico risente, come nel caso del canale T dell'EM61, anche di corpi metallici scoperti. A differenza però dell'EM61, è sensibile non solo ai corpi di natura metallica, ma anche a variazioni "litologiche" dei materiali; infatti la suscettività magnetica di un terreno di riporto è differente da quella del materiale in posto, a causa della notevole eterogeneità composizionale. Ne consegue che le anomalie assumono contorni irregolari, sensibilmente ampie, per cui il processo di contouring le rende coalescenti complicandone l'interpretazione.

Va tenuto conto del fatto che la coincidenza tra anomalie elettromagnetiche e magnetiche non è sempre rispettata dal punto di vista della localizzazione; ciò è legato al fatto che esiste uno sfasamento tra le seconde ed i relativi corpi perturbanti, a causa dell'inclinazione del campo geomagnetico.

In sostanza la carta consente quantomeno di confermare che alla maggior parte delle anomalie rilevate con il metodo elettromagnetico, corrispondono anomalie gradiometriche, ancora una volta a profondità relativamente modeste. Il metodo tuttavia è meno risolutivo dell'elettromagnetico, o quantomeno molto più laborioso nell'individuare i singoli corpi metallici.

METODO RADIOMETRICO

DESCRIZIONE DEL METODO

La radiazione gamma naturale è associata principalmente agli isotopi dell'Uranio, Torio e Potassio, presenti in tracce tanto in terreni di origine vulcanica, che sedimentaria (soprattutto argille).

Le misure in campagna vengono effettuate utilizzando una sonda provvista di scintillatore, annessa ad una unità d'integrazione, conteggio e registrazione. Nel dettaglio la sonda utilizzata, di produzione EGEO, contiene un cristallo di titanato accoppiato ad un fotomoltiplicatore, in grado di amplificare gli impulsi luminosi emessi dal cristallo colpito dalla radiazione; essa è stata tralata lungo i profili, in numero di 30, ad una velocità inferiore ai 0,3 m/sec e ad un'altezza di circa 15 cm dal piano campagna, rilevando e registrando in continuo l'emissione gamma del suolo. Il fondo scala dello strumento è stato posizionato sul valore di 1000 cps, mentre la costante d'integrazione è stata fissata in 2 secondi.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Prima di procedere alla prospezione radiometrica del sito di discarica, è stato rilevato il valore della radiazione di fondo, determinato esclusivamente dalle rocce in posto, eseguendo un profilo di taratura lungo un affioramento tufaceo all'esterno dell'area in studio (Fig.7). I valori rilevati, espressi in c.p.s. (colpi per secondo), oscillano tra 60 e 84.

Il contouring dei valori (in numero di 1818) letti sulla registrazione di ciascun profilo (Fig.8) ad intervalli regolari di 2 metri, mostra una media di circa 60-80 c.p.s. (toni medi) sul lato destro della carta, là dove il tufo è subaffiorante, quindi in perfetta sintonia con i dati di taratura; il corpo della discarica presenta invece mediamente valori di poco inferiori, compresi fra 50 e 60 c.p.s. (toni chiari). Il riempimento presenta quindi un buon contrasto nei confronti del materiale in posto, con una emissione gamma in quantità leggermente inferiore a quest'ultimo.

Si segnalano ad ogni modo tre aree di massima (relativa) emissione, con valori che superano i 100 c.p.s. (toni scuri), una delle quali di forma allungata e di dimensioni ragguardevoli (circa 20 metri), posta proprio al limite dell'area di discarica.

E' comunque opportuno ricordare che i valori rilevati possono essere determinati da fonti naturali dato che, ad esempio, i terreni argillosi, potenziali costituenti della massa discaricata, possono oltrepassare tranquillamente i valori di emissione riscontrati sul campo. Lo stesso tufo può assumere notoriamente valori del tutto simili, mentre eventuali rifiuti radioattivi produrrebbero, se concentrati, anomalie localizzate, con valori da 5 a 10 volte superiori.

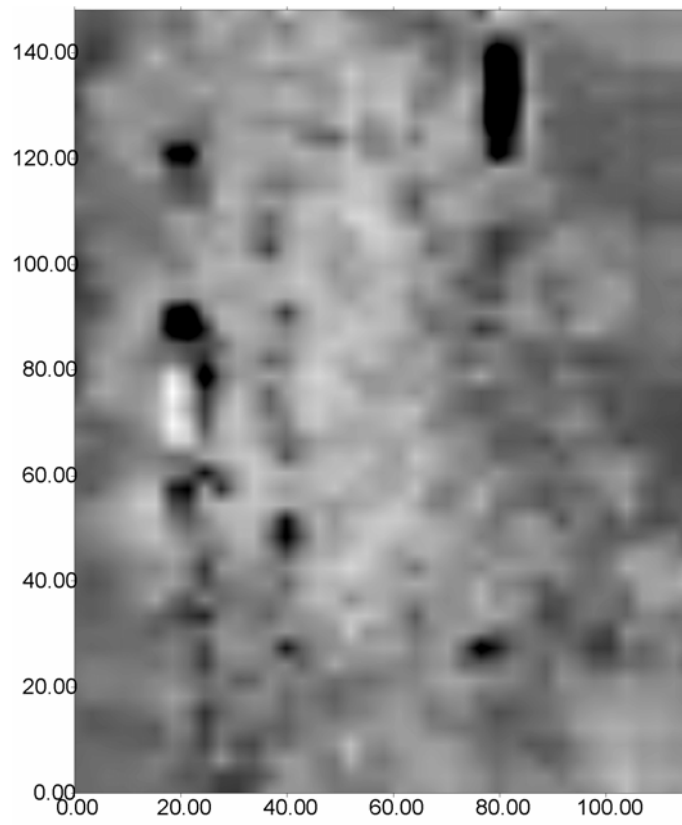


Fig.8 Valori di radiazione Gamma

CONCLUSIONI DELLA CAMPAGNA GEOFISICA

Sulla base dei risultati della campagna geofisica, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- a) Le anomalie elettromagnetiche e magnetiche riscontrate nell'ambito del sito di discarica, sono determinate da numerosi corpi metallici, isolati o in gruppo, posti a profondità modesta, nella maggioranza dei casi inferiore ad 1-1,5 m dal p.c, con distribuzione isotropa. Operati gli opportuni filtraggi, si contano circa 120 oggetti, ma di questi, quelli che, per dimensioni, potrebbero essere associati a fusti singoli, o in gruppi di 3-6 unità, sono solamente 46, con una densità di 1 ogni 304 mq. Le anomalie più grandi appaiono spiegabili con la presenza di pali armati.
- b) La possibilità che i corpi così individuati possano essere effettivamente dei fusti metallici, appare fortemente dubbia, in considerazione della piccola profondità media alla quale giacciono nella massa discaricata ed alla distribuzione pressoché uniforme nell'ambito dell'impianto.
- c) I valori della radiazione gamma rilevati nel sito di discarica, nella media dei dati risultano, se pur di poco, inferiori a quelli registrati sui terreni tufacei adiacenti, ovviamente in posto; spiccano comunque tre anomalie localizzate che potrebbero quantomeno essere associate alla diversa composizione litologica dei terreni di riempimento.

VERIFICHE DIRETTE

Per verificare i risultati della campagna geofisica, è stata realizzata una serie di "saggi", in corrispondenza di alcune delle anomalie prescelte come rappresentative; si è così constatato che le anomalie elettromagnetiche sono determinate in effetti da piccoli corpi metallici (rottami vari, tondini di ferro, etc.). Le anomalie radiometriche sono invece prodotte a luoghi da discarica di materiale argilloso ed a luoghi da stampi utilizzati nell'industria ceramica per la fabbricazione di sanitari, nei quali evidentemente l'anomalia è legata ancora una volta alla presenza di materiale argilloso.

In definitiva sono stati ampiamente confermati i risultati della prospezione geofisica.

Va infine sottolineato un aspetto tutt'altro che irrilevante: l'utilizzo delle tecniche geofisiche ha consentito di mappare dettagliatamente le aree anomale, riducendo notevolmente l'estensione delle zone "sospette" e quindi i tempi e i costi delle verifiche di tipo diretto. Fra l'altro la campagna geofisica è stata condotta nel giro di soli 2 giorni; in alternativa, l'esecuzione di scavi e carotaggi su tutta l'area di discarica, avrebbe comportato costi e tempi molto maggiori, tanto più che, se avessimo avuto a che fare effettivamente con rifiuti tossici e nocivi, il controllo diretto sarebbe stato altamente pericoloso.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BARROW B., KHADR N., DI MARCO R. & NELSON H.H. (1996) - *The combined use of magnetic and electromagnetic sensors for detection and characterization of UXO*. Atti del SAGEEP '96, 28 Aprile-2 Maggio, Keystone, Colorado.
- 2) BREINER S. (1973) - *Applications manual for portable magnetometers*. Geometrics, California.
- 3) BUTLER D. (1996) - *The probability of magnetic or electromagnetic detection of a 55-gallon drum as a function of line and station spacing*. Atti del SAGEEP '96, 28 Aprile-2 Maggio, Keystone, Colorado.
- 4) FOSTER A.R., VEATCH M.D. & BAIRD S.L. (1987) - *Hazardous waste geophysics*. The Leading Edge.
- 5) GEOMETRICS (1995) - *New environmental test site installed at Stanford University*.
- 6) GEONICS (1995) - *EM61 High sensitivity metal detector, Operating manual*.
- 7) GREEN A., LANZ E. & MAURER H. (1999) - *A template for geophysical investigations of small landfills*. The Leading Edge, vol.18, n.2.
- 8) HOLT J., DANIELS J., VENDL M., BAUMGARTNER F. & RADZIVISCIUS S. (1998) - *Brownfield site investigation using geophysics: a case history from East Chicago*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.
- 9) LINK C.A. & BLUNDELL S. (1998) - *Interpretation of shallow stratigraphic facies using artificial neural networks and borehole geophysical data*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.
- 10) McDONALD J.R. & ROBERTSON R. (1996) - *Sensor evaluation study for use with towed arrays for UXO site characterization*. Atti del SAGEEP '96, 28 Aprile-2 Maggio, Keystone, Colorado.
- 11) MEIXNER R., BLOUT D., HOVDA B., CRAWFORD B., NEWELL D., VIELLENAVE J. & HEIBEL R. (1998) - *Combination of downhole gamma logging and soil vapor measurements to track low level chlorinated solvent contamination in the deep vadose zone*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.
- 12) MURRAY C. & KEISWETTER D. (1998) - *Application of magnetic and multi-frequency EM techniques for landfill investigations; Case Histories*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.
- 13) SAUCK W.A., ATEKWANA E.A. & BERMEJO J.L. (1998) - *Characterization of a newly discovered LNAPL plume at Wurtsmith AFB, Oscoda, Michigan*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.
- 14) SCHUTTS L.D. & NICHOLS D.G. (1992) - *Surface geophysical definition of ground water contamination and buried waste; case studies of electrical conductivity and magnetic applications*. Da "Groundwater environmental geotechnical and buried hazardous waste detection", Geonics Limited.
- 15) STRUTTMANN T. & ANDERSON P.E.T. (1992) - *Comparison of shallow electromagnetic and the proton precession magnetometer surface geophysical techniques to effectively delineate buried wastes*. Da "Groundwater environmental geotechnical and buried hazardous waste detection", Geonics Limited.
- 16) WON I.J. & KEISWETTER D. (1998) - *Comparison of magnetic and electromagnetic anomalies*. Atti del SAGEEP '98, 22-26 Marzo, Chicago, Illinois.