

Misure elettromagnetiche a basso numero di induzione e radar, da natante, per lo studio dei fondi fluviali

L. Sambuelli, C. Calzoni, S. Leggieri, A. Mottino.

Dipartimento di ingegneria del territorio, dell'ambiente e delle geotecnologie, Politecnico Di Torino.

Nell'autunno 2005 navigando sul fiume PO, vicino al Castello del Valentino di Torino, sono stati acquisiti 11 profili con un'imbarcazione in vetroresina attrezzata con un conduttivimetro in multifrequenza (GEM-2, Geophex), un radar RIS/0 K2 della IDS con antenna da 200MHz (TR200), un TDR Tektronix 1502c (Time Domain Reflectometry), un conducimetro ProfiLine-197 e due ricevitori LEICA System 1200 per la referenziazione GPS.

L'obiettivo di questa attività è stato valutare l'applicabilità delle tecniche elettromagnetiche e radar in ambienti fluviali, al fine di definire la tipologia del materiale di deposito al fondo dell'alveo ed ottenere un modello in grado di schematizzare l'andamento stratigrafico.

L'interesse nel conoscere la tipologia dei materiali depositati al fondo degli alvei fluviali ricopre diversi ambiti: geologico, civile, o ancora idraulico. Ad esempio, il materiale di deposito governa il trasporto solido e l'erosione tanto delle sponde quanto delle strutture antropiche (Placzek e Haeni, 2004). Quindi un coretto monitoraggio delle acque superficiali insieme alla mappatura batimetrica, in ambienti quali possono essere fiumi, laghi o zone lagunose, oltre ad essere un valido strumento per la prevenzione e mitigazione dei fenomeni di piena, può coadiuvare la programmazione degli interventi di manutenzione in porti, sbarramenti fluviali e nelle vie di navigazione interna (Toth, 2004), ad esempio mediante l'identificazione di ordigni inesplosi. Inoltre una buona conoscenza della composizione dei sedimenti di fondo aiuta l'individuazione delle zone di ricarica degli acquiferi superficiali (Butler et al., 2004), informazioni che possono quindi essere impiegate nella pianificazione degli interventi per l'approvvigionamento d'acqua o per stimare l'effettiva pericolosità dei fenomeni di diffusione di sostanze inquinanti.

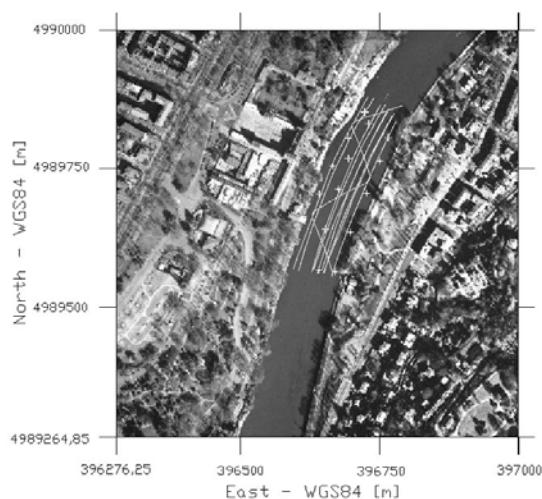


Fig. 1 – Fotografia georeferenziata sul tratto di fiume PO interessato dalle misure secondo il sistema di riferimento internazionale UTM-WGS84. Le linee individuano i profili delle misure continue (GEM-2 e radar) e le croci le misure puntuali (TDR e conducimetro).

La campagna di acquisizione sul fiume è stata organizzata in tre fasi distinte: nella prima, mentre l'imbarcazione si spostava lungo 10 percorsi paralleli alle linee di costa ed uno trasversale alla sezione del fiume, sono stati utilizzati strumenti capaci di effettuare misure con campionamento continuo (Fig 1). Nello specifico il GEM-2 è stato collocato a prua affinché la distanza dal motore fosse la maggiore possibile, invece il radar al centro dell'imbarcazione per garantirgli una base d'appoggio piana. Avendo misurato tutte le distanze tra le antenne GPS ed i vertici dei sensori geofisici, è stato possibile

acquisire i dati di posizionamento in modalità RTK (Real Time Kinematic), nel sistema di riferimento internazionale UTM-WGS84 e ricostruire i tracciati percorsi con la necessaria precisione. Nella seconda fase, condotta immediatamente dopo le acquisizioni continue, sono stati utilizzati il conducimetro e il TDR che hanno permesso di effettuare misure puntuali di conduttività, temperatura e costante dielettrica dell'acqua con l'imbarcazione ferma in 15 differenti punti. Infine la terza fase, consistita nel campionamento dei sedimenti di fondo con una benna di Van Veen nei punti maggiormente significativi, è stata condotta appena conclusasi l'elaborazione dei dati EM e radar, per avere una convalida sperimentale dei risultati ottenuti. Anche se la campagna di campionamento è stata portata a termine a distanza di qualche mese (Aprile 2006) dalle prime due fasi è opportuno evidenziare che nel tempo intercorso non si sono verificati eventi di piena, tali da far pensare ad una variazione della composizione del letto del fiume.

Entrando nello specifico dell'elaborazione dei dati radar, possiamo sintetizzare la sequenza di processing elaborata in: 1) XFlipProfile, su tutti i profili acquisiti in direzione Nord-Sud, 2) Time Shift, per eliminare l'intervallo di tempo precedente al main-bang, 3) Subtract DC Shift, per l'eliminazione di un valore costante in dominio di tempo, 4) Background Removal, al fine di rimuovere il segnale diretto tra le antenne e la riflessione dal fondo barca, 5) Subtract mean (dewow), diretto alla correzione della deriva strumentale del radar 6) recupero delle perdite geometriche, nell'ipotesi di propagazione d'onda piana 7) ed infine correzione del segnale per l'attenuazione intrinseca dell'acqua. Particolare attenzione è stata dedicata allo studio del coefficiente d'attenuazione, partendo dall'ipotesi che recuperate le perdite geometriche non vi fosse correlazione tra la riflettanza e la profondità dell'acqua. Ipotizzando inoltre la costanza dell'impulso immesso in acqua (Calzoni, 2005) e delle variabili che governano l'equazione fondamentale del radar è stata esplicitata l'ampiezza radar riflessa in: $A = A_0 \cdot e^{-2 \cdot h_w \cdot \alpha}$. Mediante *picking* sono stati estratti dai profili le ampiezze di riflessione caratteristiche del fondo fluviale (sempre ben riconoscibili per profondità inferiori ai 3m), diagrammando quindi le ampiezze in scala logaritmica con il percorso dell'onda radar è stato stimato il coefficiente d'attenuazione come pendenza della retta interpolante ($\alpha=0.73[1/m]$). In seconda istanza, avendo misurato i valori di conducibilità e permittività dell'acqua con conducimetro e TDR, è stato rivalutato il coefficiente d'attenuazione mediante le relazioni di Maxwell, ottenendo un risultato differente del 4% dalla stima precedente.

In Fig 2a è mostrato il risultato ottenuto applicando la sequenza di processing descritta sulle ampiezze di riflessione; è plausibile ipotizzare che a questo punto la riflettività del fondo sia in prima approssimazione funzione della sola composizione dei sedimenti più superficiali. In Fig 2b è invece mostrata la batimetria ottenuta con il radar, valutata con i tempi di riflessione conoscendo il valore di velocità dell'impulso in acqua.

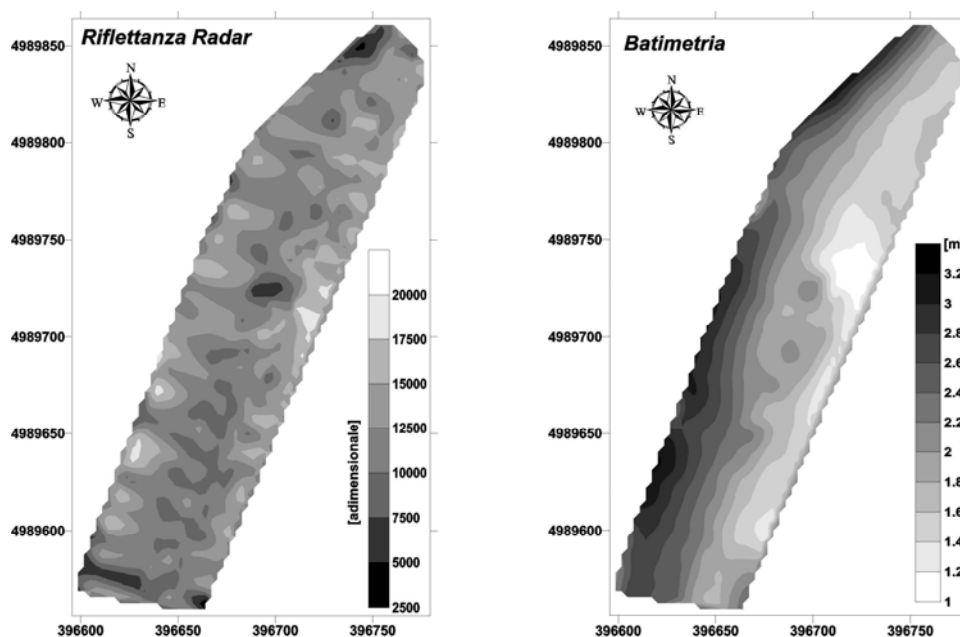


Fig. 2a-b – Mappe di riflettanza radar dei sedimenti fondo e batimetrica stimate con antenna da 200MHz (UTM-WGS84).

Per quanto concerne i dati elettromagnetici, con il GEM-2 sono state acquisite per ogni profilo 6 diverse frequenze ($f_1=775\text{Hz}$, $f_2=1175\text{Hz}$, $f_3=3925\text{Hz}$, $f_4=9825\text{Hz}$, $f_5=21725\text{Hz}$, $f_6=47025\text{Hz}$).

Durante l'elaborazione è stata effettuato un controllo preventivo del numero d'induzione B , infatti affinché la risposta elettromagnetica sia effettivamente dipendente dalla frequenza occorre che il numero d'induzione sia $B > 0.02$ (Huang e Won, 2003), condizione verificata esclusivamente dalle tre più alte frequenze. Essendo inoltre verificata per tutte le frequenze la condizione di basso numero d'induzione ($B \ll 1$) è stato possibile stimare la conducibilità apparente come funzione della frequenza seguendo le formulazioni di McNeill. A causa dell'elevato disturbo generato dal motore dell'imbarcazione, è stato necessario applicare ai dati del conduttivimetro, e conseguentemente del radar, un filtro a fase nulla che tagliasse i contributi dei numeri d'onda alti ($\geq -1\text{dB}$ @ $\lambda \geq 15\text{m}$; -100dB @ $\lambda \leq 6.5\text{m}$). Comunque nonostante il filtro le due frequenze più basse hanno continuato a mostrare un rumore tale da inibirne un utilizzo proficuo. Per ottenere le mappe di resistività dei sedimenti di fondo dai valori apparenti è stato ipotizzando un modello a due strati, di cui il primo rappresentato dall'acqua (McNeill, 1980), avendo misurato la batimetria con il radar e la conducibilità dell'acqua. Nelle Figg 3a e 3b sono mostrati i risultati ottenuti dalle 2 frequenze più alte.

Concludendo la fase di campionamento ha confermato la sostanziale uniformità dei sedimenti investigati riscontrata sia dal radar, con una riflettanza compresa per il 95% tra 11974 e 12223, sia dal conduttivimetro. Sebbene col campionatore utilizzato è stato impossibile raccogliere sia le frazioni più fini sia una quantità di materiale sufficiente per effettuare un esame granulometrico, da un'analisi visiva è sembrato evidente che l'interpretazione geologica, fornita dal conduttivimetro, di uno strato superficiale composto da ghiaie grossolane fosse corretta; ipotesi peraltro confermata anche dai dati stratigrafici di un pozzo perforato nel 1910 nelle immediate vicinanze.

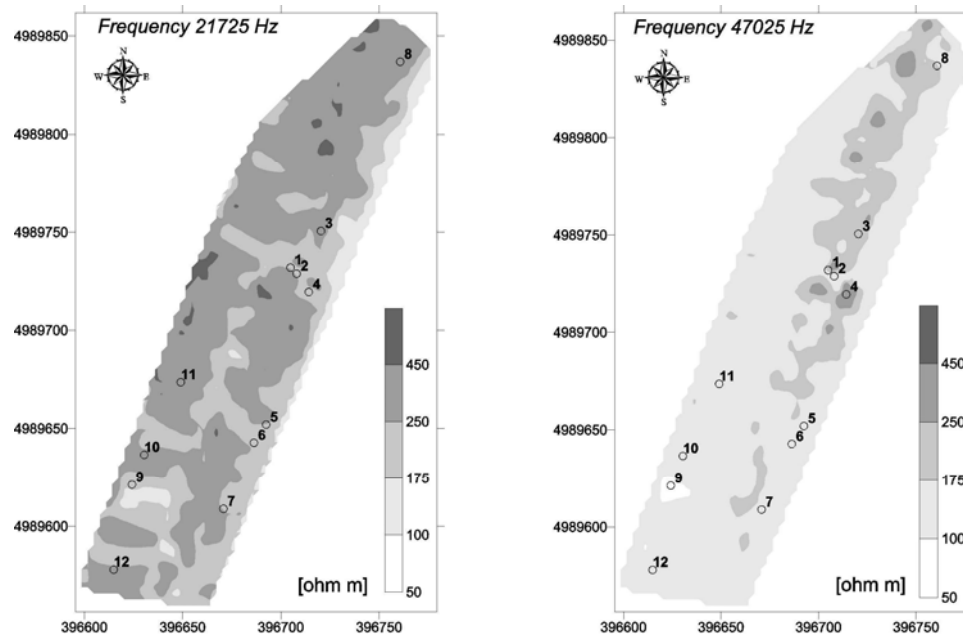


Fig. 3a-b – Mappe di resistività dei sedimenti fondo stimate sulle due frequenze più alte applicando la correzione batimetrica (UTM-WGS84). Nelle mappe sono stati indicati i punti di campionamento dei sedimenti di fondo.

Bibliografia

- Butler K.E., Nadeau J.C., Parrott R., Daigle A., 2004, Delineating Recharge to a River Valley Aquifer by Riverine Seismic and EM Methods, *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, V.9, pp.95-109.
- Calzoni C., 2005, Esperienze di laboratorio sulla possibilità di discriminare porosità di sedimenti fluviali con misure radar dalla superficie dell'acqua, *Tesi di Laurea, DITAG – Politecnico di Torino*.
- Huang H., Won I.J., 2003, Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor, *Geophysics*, v. 68, pp. 1224–1231.

McNeill J.D., 1980, Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers, Technical Note TN-6 Geonics Limited.

Placzek G., Haeni F.P., 2004, Surface geophysical techniques used to detect existing and infilled scour holes near bridge piers, USGS Water-Resources Investigations Report 95-4009.

Tóth T., 2004, High resolution geophysics provides optimal results on inland waterways, First Break v. 22., pp. 45-51.