

Esperienze di laboratorio sulla possibilità di discriminare porosità di sedimenti fluviali con misure radar dalla superficie dell'acqua.

*Original*

Esperienze di laboratorio sulla possibilità di discriminare porosità di sedimenti fluviali con misure radar dalla superficie dell'acqua / Sambuelli, Luigi; Vaira, Giuseppe; Calzoni, Corrado. - STAMPA. - 24:(2005), pp. 335-339. (Intervento presentato al convegno 24° Convegno Nazionale Gruppo nazionale di geofisica della terra solida. tenutosi a Roma nel Novembre 2005).

*Availability:*

This version is available at: 11583/1540568 since:

*Publisher:*

OGS

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Esperienze di laboratorio sulla possibilità di discriminare porosità di sedimenti fluviali con misure radar dalla superficie dell'acqua

L. Sambuelli <sup>(1)</sup>, G.Vaira <sup>(1)</sup>, C. Calzoni <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> DITAG - POLITECNICO, CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI, 24 - 10129 - TORINO - I -

Le misure geofisiche condotte sulle acque interne stanno assumendo una crescente importanza data la potenzialità di caratterizzare sia le acque sia i sedimenti di fondo di vaste aree in tempi ridotti. Anche se la caratterizzazione ottenuta con le tecniche geofisiche non è sempre della qualità necessaria per la progettazione di interventi di sistemazione, di recupero o di bonifica, quasi sempre porta ad una riduzione significativa dei costi di ulteriori analisi ed interventi. Le tecniche più usate sono: sismica (ad alte frequenze: quasi-ultrasoniche ed ultrasoniche), tomografia elettrica, elettromagnetismo a basso numero di induzione e georadar. Le tecniche sismiche e georadar hanno anche acquisito una discreta importanza per lo studio dell'erosione in prossimità delle pile dei ponti.

Il georadar in particolare avrebbe, almeno potenzialmente, interessanti applicazioni non solo nella determinazione della batimetria dei fondali ma anche nella caratterizzazione dei sedimenti di fondo e, in condizioni idonee, anche nella definizione della morfologia dei primi strati di sedimento. Si possono infatti ragionevolmente fare alcune assunzioni sull'applicazione di un georadar al mezzo "acqua di fiume": **a)** l'attenuazione è, ad una frequenza di 100 MHz, minore o uguale a  $2 \div 2.5 \text{ m}^{-1}$  dunque si può con sistemi commerciali pensare di raggiungere profondità intorno ai 4÷5m; **b)** la velocità di propagazione ELM è pari a circa 0.033m/ns e dunque, sempre per una frequenza di 100MHz, la lunghezza d'onda principale è di circa 0.3m; **c)** l'accoppiamento tra antenna e acqua è molto costante e questo, data una costanza di impulso emesso dall'antenna, comporta una costanza di impulso immesso in acqua. Il punto a) permetterebbe di sondare una discreta parte dei principali fiumi (la GSSI ha sperimentalmente prodotto un'antenna potenziata con la quale si sono raggiunti anche i 10m di profondità); il punto b) permetterebbe di avere una buona risoluzione spaziale sia degli oggetti, sia delle rugosità del fondo, sia, penetrazione permettendo, di stratificazione nel letto di sedimenti; il punto c) infine permetterebbe di pensare ad una riflettometria radar, ossia alla possibilità di valutare, in base all'ampiezza del segnale riflesso dal fondo, la permittività elettrica dei sedimenti e dunque, disponendo di adeguate mixing rules, di stimare una porosità media dei primi 0.1m del top dei sedimenti (considerati miscele bifasiche solido-liquido). Ovviamente i punti a) e b) sono i meno critici: percorrendo su una barca in vetroresina a fondo piatto un tratto di fiume si possono ottenere con un georadar risultati come in Fig.1; dove sia la batimetria, sia la morfologia del fondo sono evidenti e leggibili.

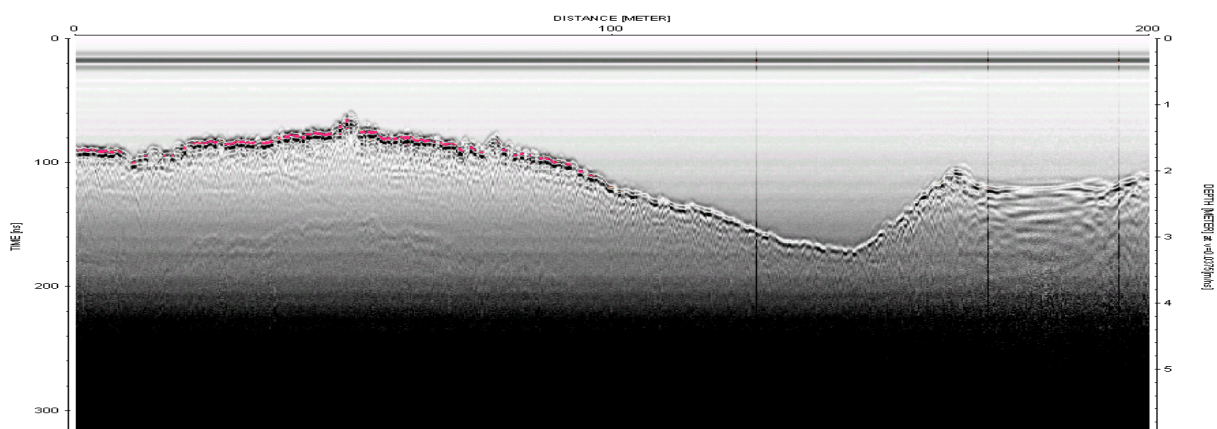


Fig.1 Radargramma sul fiume Po corretto per divergenza sferica ed attenuazione. Radar e antenna IDS 200 MHz.

Altra ben più spinosa questione è quella relativa al punto c). Non essendo biunivoca, se non in primissima approssimazione, la relazione tra tipologia dei sedimenti e porosità, resta da analizzare la possibilità di discriminare porosità diverse. Infatti, posto che si riescano ad effettuare esattamente le correzioni per la divergenza sferica e per l'attenuazione, quanto è possibile correlare le variazioni delle

riflessioni ricevute a variazioni di porosità? Quanto è lecito attribuire tali variazioni solo a differenze di porosità? Quale incertezza si può associare alle riflessioni ricevute? Le esperienze illustrate in questo lavoro sono state un tentativo di rispondere alle precedenti domande.

Il primo problema che ci si è posti è stato ovviamente un problema di scala: effettuare esperimenti in laboratorio con condizioni operative e sedimenti controllati in scala 1:1 non è stato possibile. Si è quindi operato in una vasca di circa 1x0.7x0.6 m con un letto di sedimenti intorno ai 0.2m ed ovviamente con un antenna ad alta frequenza a 1.5GHz. La ridotta lunghezza d'onda  $\lambda$  ha dunque limitato superiormente la granulometria dei sedimenti analizzati. Tutto l'esperimento sulla stima quantitativa della riflettanza si è basato sulla ipotesi che il materiale non generasse diffusione, che non ci fossero sorgenti di diffrazione, che l'approssimazione con onda piana fosse valida e quindi fosse calcolabile facilmente l'attenuazione geometrica. La definizione del limite superiore della granulometria  $D_{max}$  si è rivelata però uno dei punti delicati della progettazione dell'esperimento: sia perché in realtà non si ha la trasmissione di un'unica lunghezza d'onda, sia perché non è facilmente calcolabile il valore minimo di  $\lambda/D_{max}$  al di sotto del quale l'energia diffusa diviene una frazione significativa e non più ignorabile. Al di sotto di tale limite il top dei sedimenti non riflette solo ma diffonde e la parte diffusa non si riesce a mettere in conto. Data la velocità di propagazione ELM nell'acqua pari a 0.033m/ns, usando la frequenza centrale dell'antenna, si sarebbe ottenuto un  $\lambda=0.022m$ ; se si considera un minimo di  $\lambda/D_{max}=4$ , come da letteratura (ma la letteratura è varia sull'argomento, alcuni dicono  $\lambda/D_{max}=20!$ ), ci si sarebbe dovuti limitare a  $D_{max}$  pari a 0.0055m. Dalle prime esperienze in acqua però, ci si è accorti che l'accoppiamento delle impedenze ELM dell'antenna e dell'acqua trasla la frequenza centrale immessa verso valori più bassi pari a circa 700 MHz, con ciò perdendo di potere risolutivo ma acquistando sia in penetrazione sia in intervallo di granulometrie analizzabili. In Fig.2 sono riportati gli spettri dei segnali registrati con varie altezze d'acqua ed una lastra d'alluminio posta a fondo vasca come riflettore.

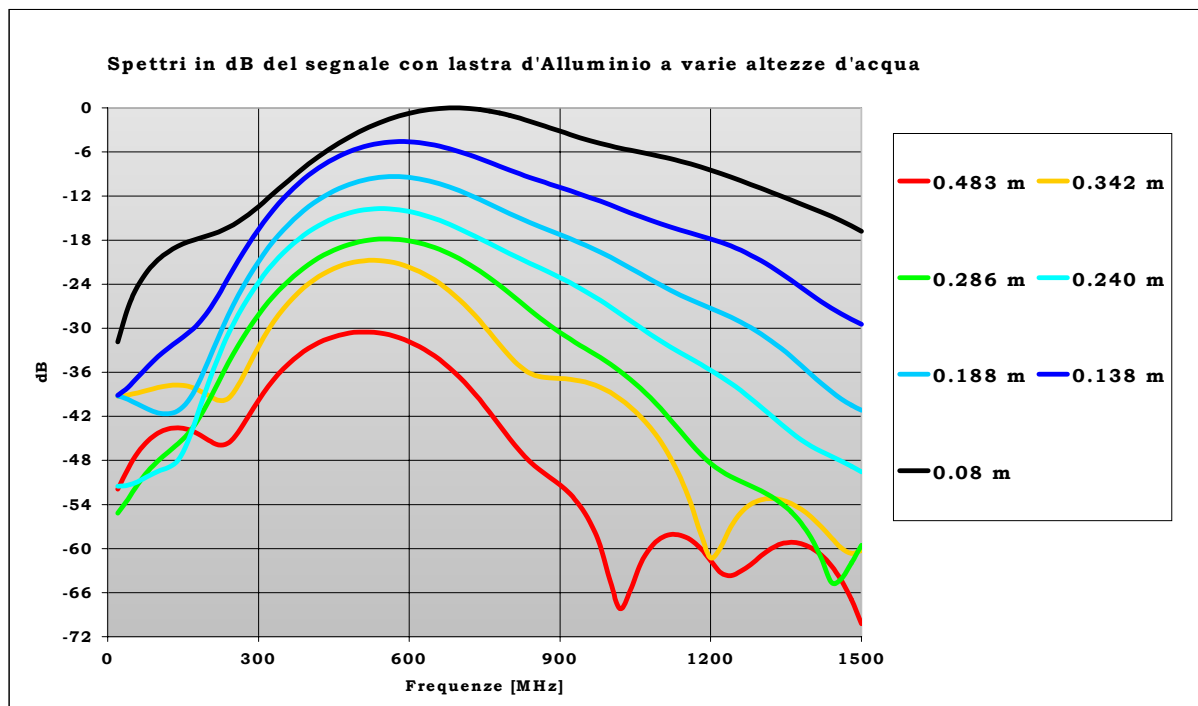


Fig.2: Spettri in dB dei segnali ottenuti per varie altezze d'acqua con una lastra d'alluminio posta a fondo vasca come riflettore. Le altezze d'acqua sono one-way, per avere il percorso effettivo devono essere raddoppiate.

Da calcoli teorici e da letteratura sperimentale, l'alluminio può considerarsi un riflettore perfetto, quindi le prove a varie altezze d'acqua ci hanno permesso di determinare: 1) la velocità di propagazione del segnale in acqua e di conseguenza la permittività elettrica; 2) il coefficiente di attenuazione nella banda di frequenze usate (circa 300÷1000MHz) come pendenza della retta interpolante le ampiezze in un piano Ampiezza vs Altezza d'acqua; 3) una stima dell'ampiezza del segnale immesso in acqua come intercetta della retta suddetta. Sperimentalmente abbiamo osservato

che nella banda di frequenze analizzata la velocità (e quindi la  $\epsilon_r$ ) dell'acqua della vasca si può considerare costante all'interno dell'incertezza sperimentale. Non altrettanto si può dire del coefficiente di attenuazione  $\alpha$  di cui è riportato l'andamento spettrale per alcune frequenze in Fig.3.

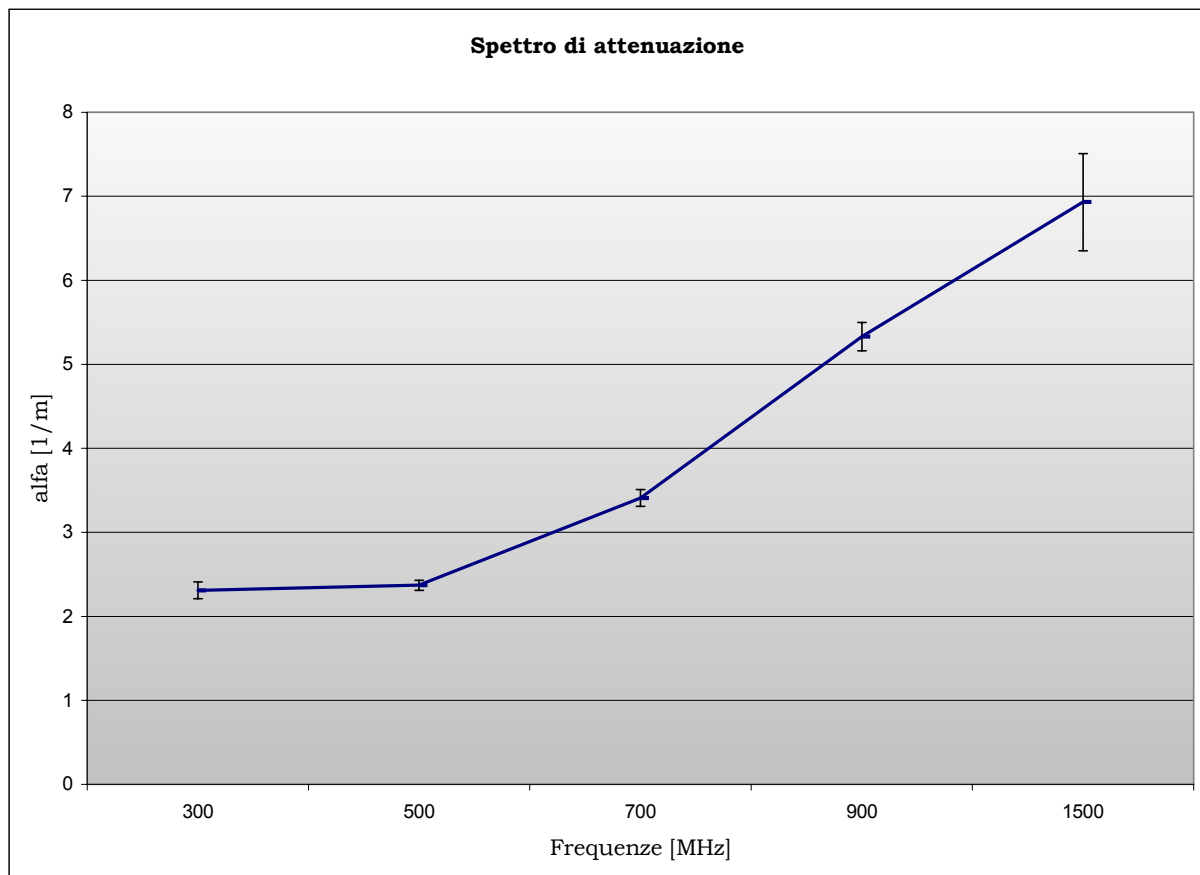


Fig.3: Andamento con la frequenza del coefficiente di attenuazione relativo all'acqua della vasca sperimentale (barre a  $\pm\sigma$ ).

Terminate le prove di taratura si è proceduto ad effettuare le misure colmando per circa 0.2m il fondo vasca, di volta in volta, di 5 granulati diversi (*Limo* < 0.5 mm; *Sabbia Fine* < 2mm; *Risino* 2-5mm; *Tondo* 3-8mm; *Pisello tondo* 5-15mm) ed effettuando su ciascuno determinazioni di intensità di riflessione ad almeno tre diverse altezze d'acqua. Il grande numero di tracce radar ha permesso di ottenere un numero di coefficienti di riflessione adeguato per una statistica e questo ha contribuito, insieme alla determinazione dell'incertezza sul valore misurato della porosità dei materiali, alla possibilità di tenere conto delle incertezze fino alle relazioni finali che collegano Coefficiente di riflessione e Porosità. La determinazione della porosità è stata effettuata con pesatura della vasca con materiale saturo e successiva pesatura del materiale essiccato in forno per almeno 48 ore a 100°. Il valore ottenuto è risultato dunque una porosità media rappresentativa del materiale nel suo complesso, nelle condizioni sature della vasca. Il coefficiente di riflessione è stato invece determinato in due modi diversi: un primo modo, rispettoso delle condizioni sperimentali "su fiume" ossia analizzando le ampiezze di riflessione; un secondo modo, di controllo, determinando la  $\epsilon_r$  dei sedimenti tramite la velocità ottenuta leggendo i tempi di riflessione dal top del granulato e dal fondo vasca e conoscendo lo spessore dei sedimenti. Nota la  $\epsilon_r$  nei sedimenti e la  $\epsilon_w$  dell'acqua si è calcolato il Coefficiente di riflessione nell'ipotesi di near zero offset e di impinging del raggio incidente normale alla superficie del top dei sedimenti.

Si sono dunque prodotti i grafici risultanti di Fig. 4a,b. Su questi grafici si possono fare una serie di osservazioni:

1. Non c'è corrispondenza tra granulometria e porosità (scontato ma qui sperimentato);

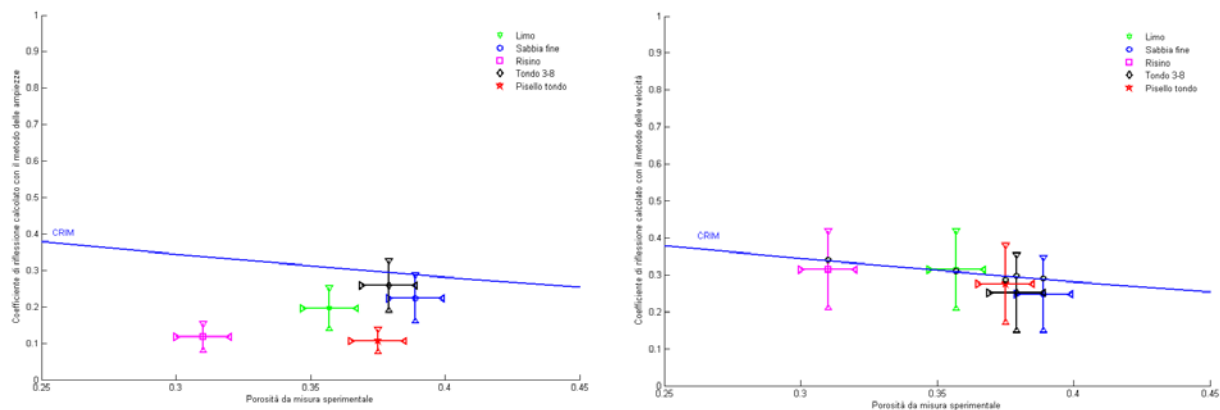


Fig. 4: Relazione tra porosità e coefficiente di riflessione ottenuto a) misurando l'ampiezza del segnale riflesso; b) indirettamente dalla misura della velocità di propagazione nel materasso granulare con la formula per incidenza normale. La linea continua blu in entrambe le figure rappresenta l'andamento teorico della legge CRIM. In figura sono anche riportati i significati dei simboli; si noti che la granulometria nell'elenco cresce dall'alto in basso.

2. Il coefficiente di riflessione determinato utilizzando la misura di  $\epsilon_r$  risponde meglio alla legge teorica ma sarebbe inattuabile in sito;
3. Il coefficiente di riflessione determinato utilizzando la misura di diretta dell'ampiezza riflessa risponde male alla legge teorica ma sarebbe quello attuabile in sito;
4. Il coefficiente di riflessione determinato utilizzando la misura di diretta dell'ampiezza riflessa sottostima sistematicamente il coefficiente di riflessione teorico ossia attribuisce una  $\epsilon_r$  dei sedimenti più vicina a quella dell'acqua ossia ancora sovrastima le porosità.

Attualmente, siamo in grado di dare tre spiegazioni che possono aver concorso alla sottostima del coefficiente di riflessione derivato dalla misura delle ampiezze riflesse: a) le dimensioni dei grani dei sedimenti hanno provocato scattering e dunque non è valida l'ipotesi di riflettore piano ed uniforme sottesa dai calcoli; b) il metodo di misura dell'ampiezza di riflessione indaga per una frazione di lunghezza d'onda il materiale che potrebbe essere più poroso nei primi cm in superficie (Maerki M. et al., 2004) mentre il metodo con la stima della velocità indaga tutto il pacco di sedimenti; c) fenomeni a noi sconosciuti. In bibliografia si riportano alcuni articoli inerenti il tema del lavoro esposto.

#### 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*, June, Volume 9, Issue 2.
- Gasparini L., Masini L., Matteucci G., 1999, Soluzioni tecnologiche innovative per la prospezione geofisica in ambiente lagunare, *Laguna*, supplemento n° 5, 76 - 81.
- Haeni F.P., 1992, Use of ground-penetrating radar and continuous seismic-reflection profiling on surface-water bodies in environmental and engineering studies, *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*.
- Kutrubes D., Maser K., 1998, Use of GPR in 2D and 3D Imaging of Bridge Footings and Scour Studies, *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*
- Nadeau J.-C., Butler K. E., and Parrott R., 2003, Application of riverine geophysics for delineating recharge to a river valley aquifer-Fredericton, NB, Canada: in *Proceedings of 16<sup>th</sup> Annual Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2003)*, Environmental and Engineering Geophysical Society, 12p.
- Placzek G., Haeni F.P. Surface geophysical techniques used to detect existing and infilled scour holes near bridge piers, *USGS Water-Resources Investigations Report 95-4009*
- Schock S. G., Le Blanc L. R., Mayer L. A., 1989, Chirp subbottom profiler for quantitative sediment analysis. *Geophysics* Vol. 54. NO. 4, pp. 445-450.
- Toth, T., Vida, R., Horvath, F., and Simpkin, P., 1997, Shallow-water single and multichannel seismic profiling in a riverine environment: *The Leading Edge*, 16, 1691-1695.
- Webb, D.J., N.L. Anderson, T. Newton, and S. Cardimona, 2000, *Bridge Scour: Application of Ground Penetrating Radar*, Federal Highway Administration and Missouri Department of Transportation special publication.
- Brian J. Moorman, 2001, *Ground-penetrating radar applications in paleolimnology*, W. M. Last&J. P. Smol (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Chemical Techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Maerki M., Wehrli B., Dinkel C., Muller B., 2004, The influence of tortuosity on molecular diffusion in freshwater sediments of high porosity, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 68, No. 7, pp. 1519-1528.