



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 2007ET8X4C

1. Area Scientifico Disciplinare principale	<i>08: Ingegneria civile ed Architettura</i>
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	<i>RANIERI Gaetano</i>
- Università	<i>Università degli Studi di CAGLIARI</i>
- Facoltà	<i>Facoltà di ARCHITETTURA</i>
- Dipartimento/Istituto	<i>Dip. INGEGNERIA DEL TERRITORIO</i>
3. Titolo del programma di ricerca	<i>CONTROLLO, PROTEZIONE E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE. IL CONTRIBUTO DI METODI GEOFISICI INNOVATIVI.</i>
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	<i>ICAR/03</i>
5. Costo originale del Programma:	<i>521.800 €</i>
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	<i>215.000 €</i>
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	<i>92.226 €</i>
8. Finanziamento totale:	<i>307.226 €</i>
9. Durata:	<i>24 mesi</i>

10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo principale del presente progetto era la realizzazione, attraverso lo studio di appropriati sistemi di diagnosi e di monitoraggio, di protocolli di interesse per la Protezione Ambientale e in particolare per le acque sotterranee e per le acque interne. L'interesse era orientato verso il riconoscimento della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento naturale (intrusione salina) o di origine antropica (discariche di rifiuti urbani, insediamenti industriali ecc.) attraverso l'uso di innovativi metodi geofisici, per aumentare l'efficacia dello studio e l'immediato trasferimento agli utilizzatori. L'obiettivo pratico era perciò quello di determinare lo stato di salute delle risorse idriche sotterranee e di definire metodologie e procedure che potessero essere utilizzate non solo a grande scala, di interesse soprattutto di pianificatori territoriali e ingegneri ambientali, ma anche in una scala di dettaglio, di interesse di professionisti nel campo idrogeologico. In particolare l'obiettivo era quello di determinare i rapporti con i suoli e con le acque superficiali, di stabilire quale metodo potesse meglio definire le geometrie degli acquiferi e caratterizzare i siti per il loro stato di contaminazione. Gli esiti di tale studio, applicato in punti salienti del territorio, dovevano essere utilizzati, assieme alle analisi chimiche e idrogeologiche, come vincoli per la modellazione dinamica dell'acquifero e nella previsione dell'evoluzione dei fenomeni di inquinamento, nel controllo della captazione di acqua e dei processi di ricarica. Infine dovevano essere studiati i criteri di gestione ottimale delle risorse idriche sotterranee.

La ricerca, metodologica, prevedeva lo studio teorico, l'applicazione in campi e in ambienti di misura diversi, dalla superficie del suolo, dalla superficie dei laghi o dei fiumi e in fori di sonda, e l'ottimizzazione di tecniche geofisiche innovative, quali la resistività complessa, la Polarizzazione indotta spettrale, la Magnetotellurica in sorgente controllata e quello della tomografia elettrica in time lapse.

Il progetto prevedeva soprattutto l'impiego di metodi geofisici innovativi nella ricerca idrogeologica applicata nei suoi diversi aspetti. Il ricorso ai metodi geofisici di nuova generazione poteva infatti consentire di fornire agli idrogeologici notevoli contributi utili alla comprensione dei fenomeni di inquinamento sia da intrusione marina, sia da sversamenti industriali diversi, sia ancora per l'interazione tra le acque superficiali, i sedimenti di alveo e le falde sia, infine, nella gestione delle acque termali. Infatti, oltre che a definire con migliore approssimazione di quanto fatto in passato, la geometria degli acquiferi, si contava di valutare anche lo stato delle acque contenute, i legami chimico-fisici con i suoli e, attraverso misure ripetute nel tempo, l'evoluzione dei fenomeni di inquinamento, con ovvi vantaggi nella protezione ambientale e conseguentemente nella pianificazione di un territorio.

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Il progetto di ricerca ha preso in esame diversi aspetti della ricerca idrogeologica: l'intrusione salina nelle falde costiere, l'inquinamento delle falde da parte di sversamenti di rifiuti industriali, l'azione dell'acqua nei processi di instabilità, la ricerca di acque termali per un uso della risorsa anche sotto l'aspetto energetico, il trasporto di parti solide operato dalle acque superficiali e il loro accumulo nei laghi. Il filo conduttore è stato comunque l'applicazione di metodologie geofisiche di nuova generazione, la loro integrazione per il controllo, la protezione e la gestione delle risorse idriche.

Perciò, accanto alle applicazioni, sporadiche ma significative, sono stati eseguiti studi teorici, di laboratorio e metodologici. I risultati sono stati generalmente positivi, in alcuni casi sembrano essere risolutivi, in altri hanno permesso di puntualizzare i loro vantaggi e i loro limiti, proponendo per la discussione sviluppi e ipotesi di lavoro successivo.

I percorsi dell'intrusione salina sono stati affrontati dalle unità operative CNR di Milano e Università di Palermo, le quali hanno lavorato in sinergia sia sotto l'aspetto teorico sia sotto l'aspetto pratico. Le due unità hanno infatti utilizzato entrambe il metodo della Tomografia di Resistività ripetuta nel tempo, a volte integrato da altri metodi quali il TDEM e il MASW, lo SKYTEM, la sismica a riflessione ad elevata risoluzione di altro significato fisico e il metodo MRT (tomografia elettrica marina).

Uno dei risultati più rappresentativi raggiunti è costituito dall'analisi dei dati elettro-tomografici tempo-variante acquisiti nell'area della laguna veneta nel test site di Chioggia. L'analisi ha permesso di evidenziare le oscillazioni dell'intrusione a diverse scale spaziali e temporali. In particolare i risultati indicano come la tecnica ERT permette di seguire le variazioni del fronte dell'intrusione salina alla scala temporale stagionale per diverse scale spaziali. Sull'argomento è stata redatta una nota pubblicata su una rivista ISI. In collaborazione con l'Università di Padova e dell'Istituto di Scienze Marine del CNR, non coinvolti direttamente nel presente progetto, si è proceduto all'acquisizione integrata e confronto dei dati geofisici acquisiti a terra nel test site di Chioggia. Un esempio di confronto con il rilievo elettromagnetico aereo (AEM) mediante il sistema SKYTEM è riportato nella FIGURA 1.

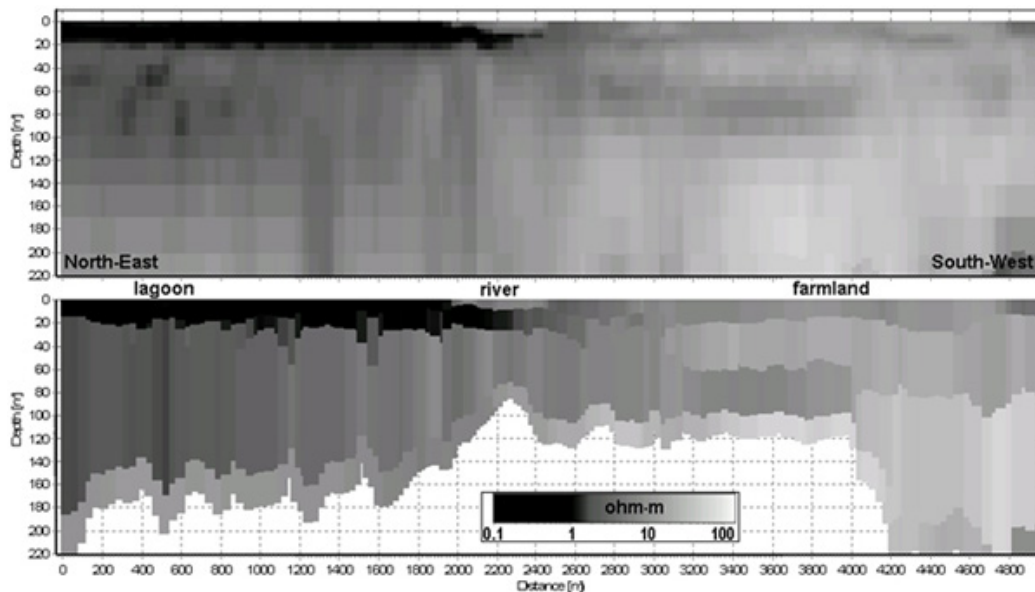


FIG. 1

I risultati del monitoraggio e l'integrazione dei modelli ottenuti con le diverse tecniche sono stati utilizzati per costruire un modello numerico affidabile del sottosuolo per la simulazione della intrusione di acqua salata lungo il margine meridionale della Laguna di Venezia. L'analisi ha permesso di evidenziare le oscillazioni dell'intrusione a diverse scale spaziali e temporali. In particolare i risultati indicano come la tecnica ERT permette di seguire le variazioni del fronte dell'intrusione salina alla scala temporale stagionale per diverse scale spaziali. Il monitoraggio consente altresì di valutare alle piccole scale spaziali (profondità massime di 5 m) e temporali (ore-giorno) l'influenza di eventi di precipitazione significativi (> 20 mm pioggia).

I risultati di modellazione consentono di definire il ruolo svolto dalla laguna e dai corsi d'acqua principali. Dai risultati si può concludere che anche se la laguna è un'importante fonte di acqua salata, si scopre che i fiumi esercitano un ruolo importante nel miglioramento o peggioramento della contaminazione salina del sottosuolo. La ricerca è stata affiancata dalla parallela ricerca tecnologica, con la costruzione di un prototipo di energizzazione e ricezione in aree a bassissima resistività.

Le tomografie elettriche tempo varianti possono essere utilizzate anche quale sistema di monitoraggio della qualità delle acque e della dinamica dell'intrusione salina. A tale scopo è stato realizzato un progetto pilota di monitoraggio geofisico di una porzione dell'acquifero costiero dell'area di Petrosino (Sicilia occidentale). Questo, per le sue caratteristiche geometriche, si deve ritenere presumibilmente sensibile alle attività antropiche. Infatti è stato soggetto recentemente ad una rapida alterazione della concentrazione salina.

Per costruire modelli quantitativi dell'evoluzione temporale dei principali parametri idrogeologici e chimico-fisici dell'acquifero di Petrosino, è stata realizzata dall'Università di Palermo, un'indagine basata sull'integrazione di tomografie elettriche tempo-varianti, sondaggi MASW e TEM e misure geochimiche in pozzo. La definizione di criteri di fattibilità dell'esperimento e di ottimizzazione degli schemi di acquisizione di misure geofisiche è stata basata sulle limitate conoscenze a priori dell'assetto idrogeologico dell'area. Tali conoscenze, insieme a dati sulla concentrazione salina nei campioni di acqua prelevati nei numerosi pozzi presenti nell'area, hanno permesso di ipotizzare valori di resistività in media dell'ordine di 1 ohm.m in estesi volumi del sottosuolo, con conseguente difficoltà di realizzare misure geoelettriche con errori relativi sufficientemente piccoli perché il loro andamento spazio-temporale si possa ritenere caratterizzato da un buon rapporto segnale/rumore.

L'elevato livello degli errori di misura accidentali e gli effetti sulle misure elettriche di alcuni cortocircuiti superficiali, prodotti da comuni impianti agricoli, hanno reso necessaria l'implementazione di alcune procedure di denoising. Quelle finalizzate all'attenuazione degli errori accidentali di misura sono basate su approcci statistici, mentre la correzione degli effetti dei cortocircuiti superficiali è stata effettuata con una tecnica deterministica approssimata.

I modelli relativi alla sezione dell'area di indagine monitorata sono stati vincolati mediante un'inversione congiunta di dati geoelettrici acquisiti lungo il profilo e di misure MASW e TEM realizzate in una vasta area circostante in modo da poter determinare gli andamenti tridimensionali delle principali strutture idrogeologiche. Le inversioni time-lapse sono state effettuate sia usando una tecnica di joint inversion che utilizza il modello inverso ottenuto dal primo dataset come modello iniziale di riferimento in modo da vincolare le inversioni separate dei dataset successivi e valutando le differenze tra i modelli ottenuti, sia invertendo le differenze di resistività apparente per ottenere modelli di variazione temporale della resistività lungo la sezione studiata. La distribuzione orizzontale di resistività evidenzia come i processi di ingressione marina abbiano direzioni preferenziali, generalmente coincidenti con discontinuità tettoniche, litologiche o di permeabilità. La presenza di perturbazioni del campo elettrico causate da cortocircuiti superficiali dovuti agli impianti agricoli è chiaramente visibile nei dati sperimentali.

Questa analisi ha permesso di caratterizzare la componente stagionale delle variazioni, passo essenziale per l'elaborazione di un modello evolutivo idrogeologico dell'acquifero, mediante la prosecuzione per tempi ragionevolmente lunghi del monitoraggio time-lapse ottimizzato. Nelle figure 2,3 sono rappresentati alcuni risultati raggiunti.

Modelli ERT, MASW e TEM

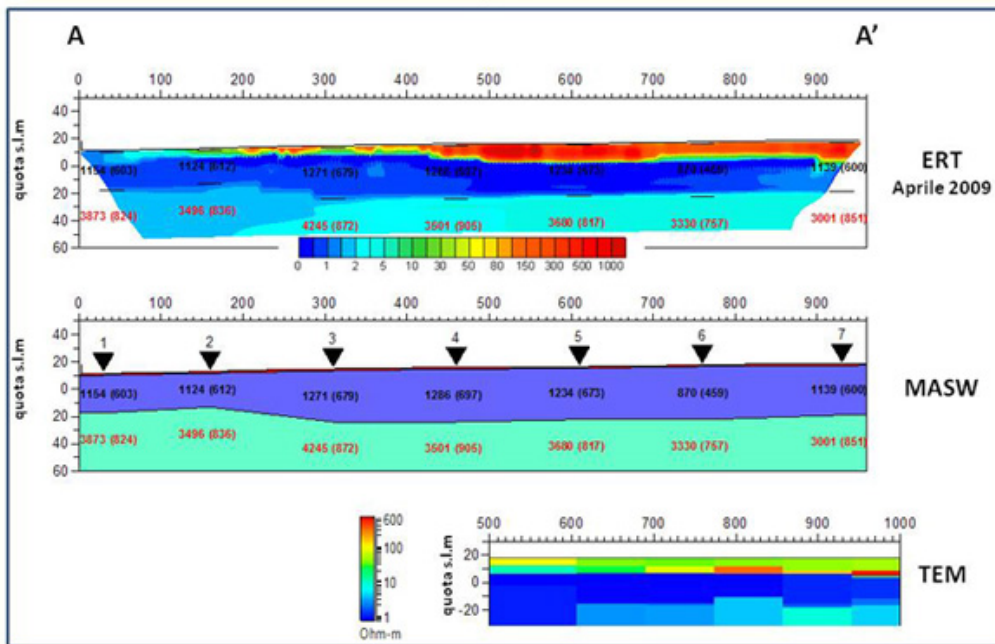


Fig. 2. Confronto fra i modelli 2D lungo la sezione monitorata ottenuti invertendo i dati ERT, TEM e MASW con vincoli reciproci.

Risultati time-lapse

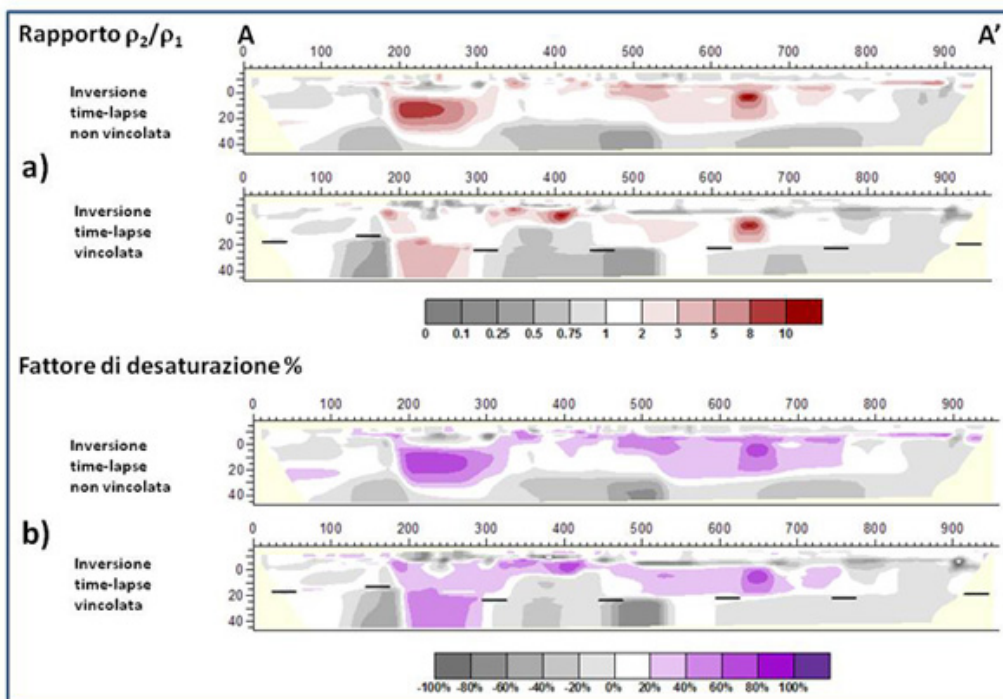


Fig. 3. Risultati dell'inversione time-lapse, relativi ai dataset di aprile e luglio 2009. L'aumento della resistività nella parte superiore della falda è interpretato alternativamente in termini di effetti della variazione di concentrazione salina (a), o di desaturazione della falda (b).

Un aspetto spesso trascurato dalla comunità scientifica è l'effetto delle acque superficiali, cioè il trasporto solido e il conseguente accumulo in mare e soprattutto nei laghi. Il gruppo di ricerca del Politecnico di Torino ha operato proprio su questo aspetto e precisamente sul lago di Candia.

Sono state eseguite sul lago tre principali campagne di misura, tutte condotte dalla superficie del lago, insolita anche per l'esecuzione di misure elettriche ed elettromagnetiche e quindi con implementazione anche metodologica: un'indagine radar, un'indagine magnetica e una di tipo elettrico. Nelle due ultime indagini sono stati acquisiti anche dati radar per conoscere la batimetria e aggiungere informazioni all'elaborazione dei dati magnetici ed elettrici. Si è ottenuta una mappa batimetrica del lago (Fig. 4a) ed il volume d'acqua. Inoltre è stata realizzata una procedura che utilizza i segnali di diffrazione degli oggetti all'interno dei sedimenti per valutare la velocità dell'impulso del GPR nei sedimenti e per stimare la porosità dei sedimenti per mezzo di idonee leggi di miscelazione. In accordo con i casi di diffrazione trovati è stata prodotta una mappa di porosità del fondo del lago (Fig. 4b).

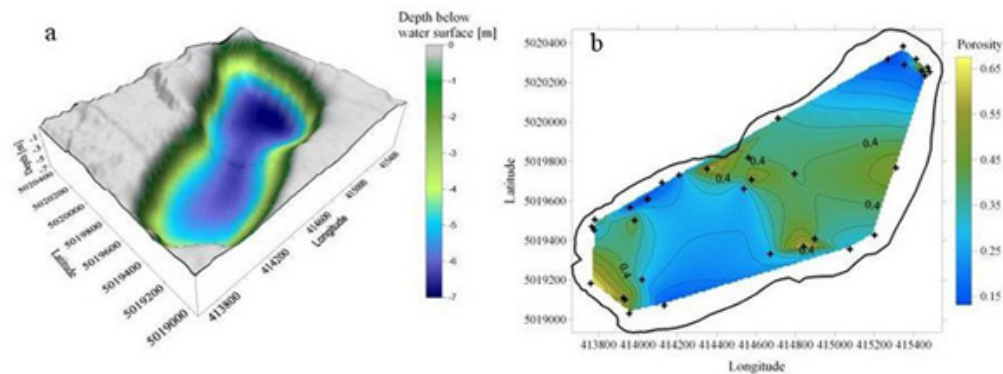


FIG.4
 Per quanto riguarda i dati magnetici, essi sono stati corretti per la variazione diurna del campo magnetico, utilizzando le informazioni dell'osservatorio geomagnetico INGV di Castello Tesino (TN). Dopo aver realizzato tramite i dati una mappa TMF del lago (Fig. 5a), è stato selezionato un profilo magnetico (Fig. 5b) e, usando un'inversione magnetica compatta 2D corretta per la batimetria, si è ottenuta una sezione verticale semi-quantitativa dell'anomalia di suscettività magnetica (Fig. 5c).

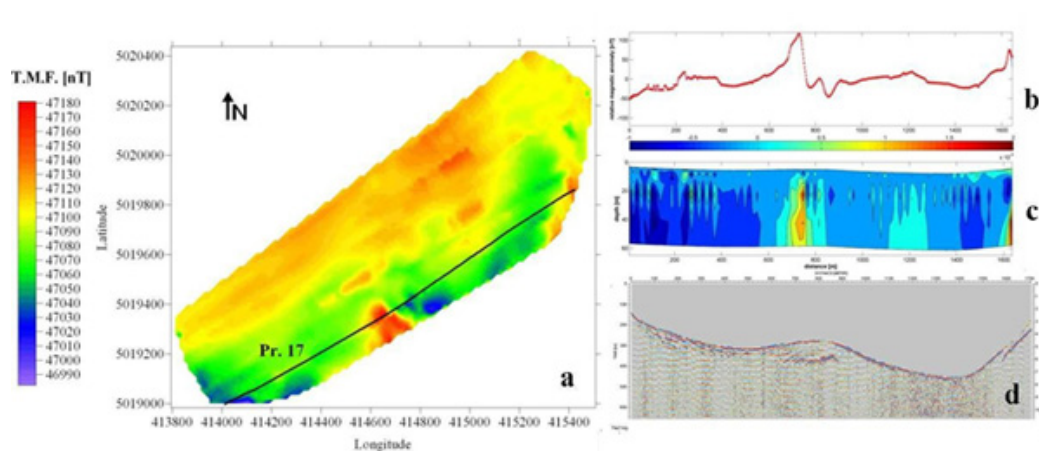


Fig.5
 Le riflessioni del fondo evidenziate con il GPR (Fig.6a) in corrispondenza delle anomalie TMF coincidono con la presenza di ghiaie riflettenti. Tuttavia le ampiezze e la lunghezza d'onda delle anomalie TMF fanno supporre l'esistenza di corpi magneticamente anomali più larghi e posizionati più in profondità, come massi all'interno della morena. I dati elettrici sono stati acquisiti con gli elettrodi galleggianti appena sotto la superficie dell'acqua. In Figura 6b la pseudo sezione riferita ad un profilo è stata visualizzata con il relativo radargramma.

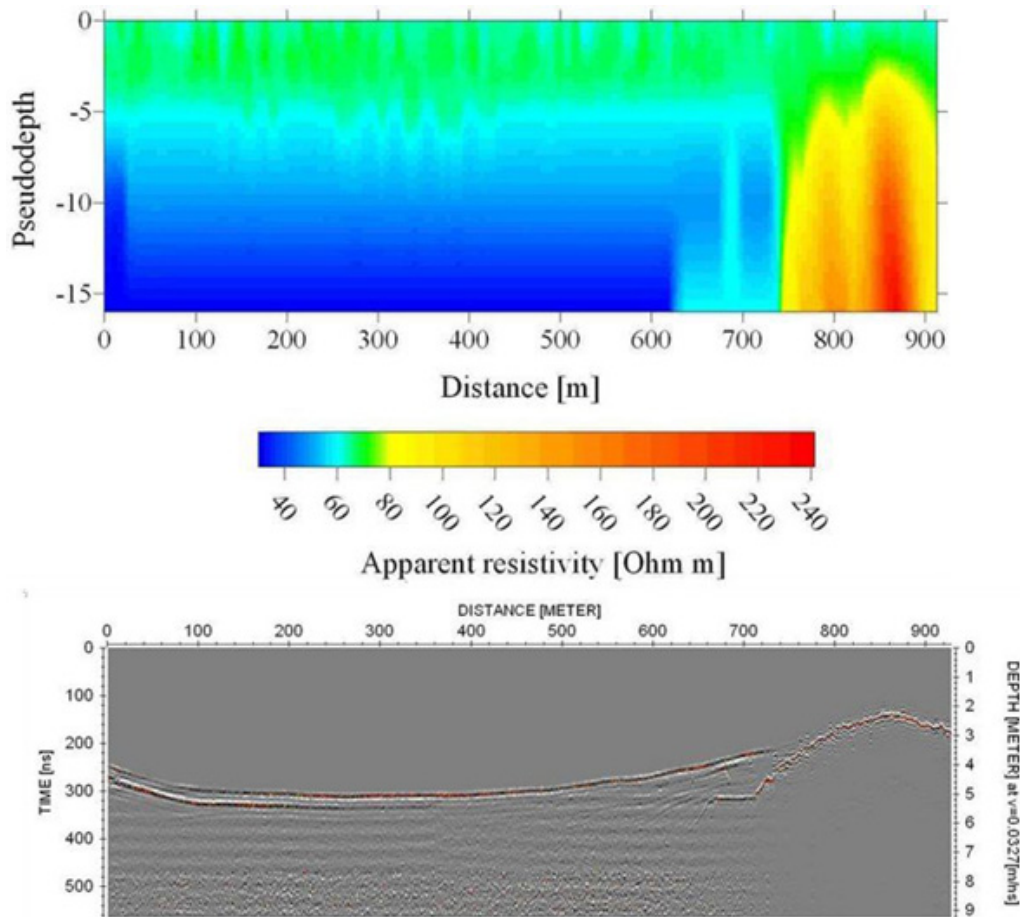


Fig. 6
 Si è trovata una buona corrispondenza sia con la morfologia del fondo del lago sia con la tipologia dei sedimenti: le maggiori riflessioni del GPR e le più alte resistività apparenti sono ben correlate con la presenza locale di ghiaie sul fondo. Le tecniche non sismiche possono essere quindi complementari a quelle acustiche aggiungendo informazioni sui sedimenti di fondo. La combinazione di diverse tecniche è in grado di aumentare la trattabilità e l'interpretazione di ciascuna metodologia.

L'aspetto dell'inquinamento delle falde è stato affrontato dall'Unità della Sapienza Università di Roma. La ricerca proposta si prefiggeva come scopo di analizzare la capacità di alcune metodologie geofisiche di individuare e caratterizzare suoli inquinati da idrocarburi ed in particolar modo da DNAPL.

La ricerca che era stata proposta aveva come scopo di sperimentare in laboratorio tali tecniche attraverso l'uso di un'apparecchiatura geoelettrica che potesse lavorare nel dominio delle frequenze ed al contempo implementare un software capace di invertire dati di resistività complessa.

A tale scopo è stato acquistato uno strumento da laboratorio SIPLabII a 40 canali della Radic Research capace di effettuare misure di polarizzazione indotta spettrale, misurando ampiezza e fase della resistività complessa in un intervallo di frequenze 1 mHz a 12 kHz.

Nel contempo si è costruito un modello fisico in laboratorio composto di un contenitore modulare di plexiglass delle dimensioni di 1 m di altezza e 0.5 m di diametro. Il contenitore è stato fornito di una serie di fori su cui alloggiare gli elettrodi su livelli diversi (per un totale di 40 elettrodi) allo scopo di avere la possibilità di eseguire misure in modalità 2D e 3D.

La ricerca è stata suddivisa in fasi:

Una prima fase ha interessato la messa a punto dell'apparecchiatura di acquisizione e l'implementazione di un algoritmo di calcolo che affrontasse il problema diretto capace di risolvere il problema del potenziale in un dominio circolare chiuso nel caso di resistività complessa.

Per quanto riguarda la sperimentazione di laboratorio, dapprima sono state fatte prove per individuare il miglior rapporto segnale rumore in funzione di differenti tipi di elettrodi. Successivamente si è eseguita una serie di misure su differenti modelli di suolo appositamente creati (Figura 7).

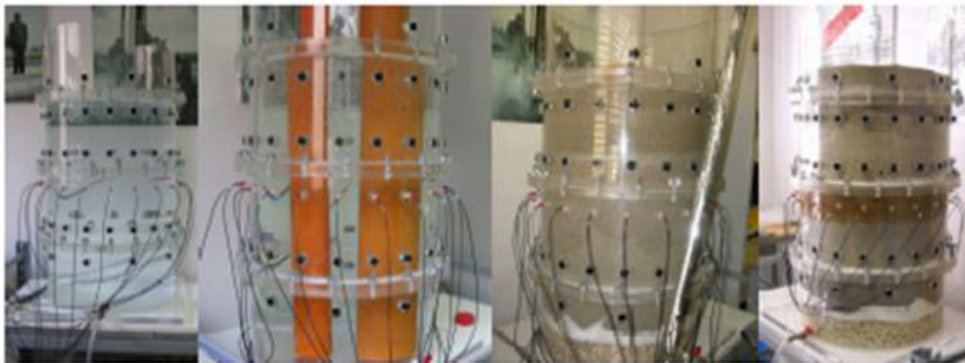


Fig.7
 Parallelamente è stato sviluppato un algoritmo 2D agli elementi finiti per l'inversione tomografica di dati di resistività e caricabilità nel dominio del tempo a scala di laboratorio, basato sull'approccio CEM ed impostato a partire dai risultati ottenuti in ambito medico con il progetto EIDORS in ambiente MATLAB. Le novità

introdotte e le principali caratteristiche dell' algoritmo sono:

- Modellazione diretta tramite elementi finiti con possibilità di scelta tra funzioni di forma lineari o quadratiche.
- Possibilità d'invertire anche dati di caricabilità con l'approccio di Oldenburg e Li (1994).
- Implementazione della Discrete Fourier Transform (DFT) del potenziale.
- Inversione Gauss-Newton con scelta del fattore di damping che restituisca, ad ogni iterazione, il Minimum-Misfit-Model (Figura 8)

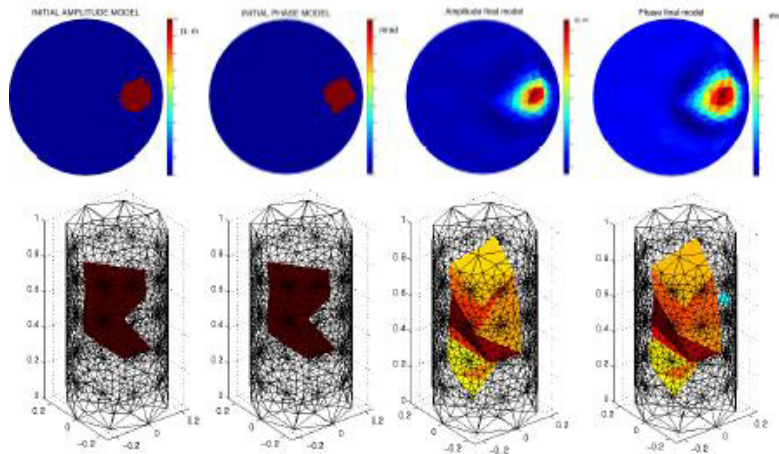


Fig. 8

L'unità dell'Università di Cagliari ha posto l'attenzione su particolari aspetti fisici e sugli aspetti pratici del monitoraggio degli acquiferi, della loro vulnerabilità, degli effetti indotti dall'azione dell'acqua nel contesto urbano e dalla ricerca di acquiferi profondi soprattutto termali, dell'intrusione salina o dagli inquinanti; nello sviluppo di modellazioni dinamiche, basate sui rilievi time lapse.

Sono stati impiegati essenzialmente metodi elettrici ed elettromagnetici.

Dopo aver acquisito la grande attrezzatura Stratagem della EMI Instruments, strumentazione di CSAMT (Audio magnetotellurica in sorgente controllata) è iniziata dapprima la sperimentazione per la verifica delle possibilità del metodo in diversi ambienti geologici e in diversi contesti, anche in rapporto ad altri consolidati metodi geofisici:

- nello studio del fenomeno dell'intrusione salina nelle falde costiere;
 - nello studio del fenomeno di inquinamento delle falde in aree industriali;
 - nello studio di acquiferi termali a media entalpia, con verifica delle potenzialità di sfruttamento della risorsa geotermica, anche in area urbana;
 - nello studio di problemi geotecnici in cui l'acqua del sottosuolo gioca un ruolo importante.
- nello studio di fenomeni particolari (ad esempio polarizzazione indotta negativa o potenziali elettrici derivati da condizioni di sollecitazione di tipo sismico), che potrebbero preludere alla costituzione di un nuovo metodo di indagine (metodo sismoelettrico), già da tempo teorizzato ma mai effettivamente definito ed utilizzato nella prospezione geofisica.

Dopo un primo approccio consistente nel confronto con metodi elettrici (tomografie di resistività) o elettromagnetici in dominio di frequenza (TDEM) o addirittura sismici (a riflessione), si è passati alla prospezione vera e propria in un ambiente in cui l'intrusione salina è talmente evidente, che aree un tempo rigogliose perché ricche di acqua dolce, hanno visto addirittura un progressivo impoverimento della produzione ortofrutticola (agrumi) fino quasi al completo abbandono. I sondaggi AMT sono stati effettuati non in sorgente controllata e ripetuti a distanza di 8 mesi. Dopo l'inversione con software residente, essi hanno chiaramente mostrato una dinamica dell'inquinamento naturale delle falde e l'inefficienza dei sistemi di ricarica artificiale adottati o di quelli naturali quali le grandi piogge. Particolarmente interessante inoltre l'inversione congiunta con i dati di sismica a riflessione che consente di definire meglio la geometria degli acquiferi, anche quelli più profondi (fino a 700 metri) e stabilire la qualità delle acque sotterranee.

La prospezione è avvenuta utilizzando anche fondi a disposizione del responsabile e dei partecipanti alla ricerca derivanti da capitoli diversi e che sono stati destinati all'acquisto di parti accessorie (come i software di gestione e interpretazione dei dati AMT). L'apparato sembra particolarmente adatto alla ricerca idrica indiretta a profondità medie (da pochi metri fino a circa 1000 metri).

Su questo argomento è stato avviato anche un processo di formazione che coinvolge Paesi stranieri.

Sempre su questo argomento, nel primo anno del progetto sono state, come programmato, eseguite indagini geofisiche innovative anche nella piana di Cardedu (Sardegna centro-orientale) con l'utilizzo di Tomografie Elettriche profonde e di sondaggi TDEM con la ricostruzione 3D della struttura dell'acquifero profondo. L'installazione di un sistema di monitoraggio a distanza purtroppo non è stato realizzato solo per motivi legati alla logistica e ai processi autorizzativi. E' stato inoltre studiato l'inquinamento industriale prodotto nelle falde tra Cagliari e Capoterra, e nella zona industriale di Cagliari (oggetto di studio nel primo anno di attività) e nella zona industriale di Portoscuso, individuato e monitorato sia con le tomografie elettriche di resistività e di polarizzazione indotta sia con i sondaggi TDEM e FEM ripetuti nel tempo. Su questo argomento è stata realizzata una nota accettata per la pubblicazione su una rivista internazionale ISI.

Nel secondo anno è stato affrontato uno studio di carattere geotecnico in cui era stata riconosciuta all'acqua l'origine di crolli e di lesioni occorse alle costruzioni, in ambiente urbano (a Cagliari in via Peschiera confinante con la facoltà di Ingegneria). In particolare è stata sperimentata una tomografia elettrica 3D, per la prima volta applicata in campo geotecnico e sono state studiate le configurazioni ottimali per il suo uso in ambiente urbano. Per ottenere un reale rilievo 3D gli elettrodi sono stati disposti non lungo linee ma attorno ad un isolato con un dispositivo ad U ed è stato automatizzata la misura delle resistività apparenti per i diversi poli di energizzazione. Particolari software hanno permesso di ricostruire in tre dimensioni la situazione geologica anche profonda, la presenza eventuale di vuoti di possibile interazione con gli edifici e di falde sospese, in particolare nei pressi delle fondazioni, per poter giudicare il grado di stabilità di ciascun edificio e per scegliere gli opportuni sistemi di consolidamento (Figura 9).

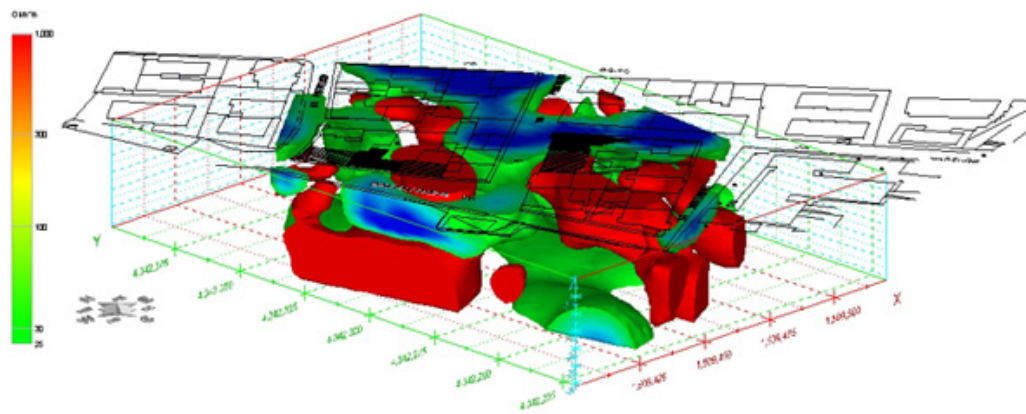


Fig. 9

Lo studio è stato esteso ad altre parti del rione e sono state studiate la sensitività del metodo e la capacità di ottenere informazioni ugualmente attendibili sia a piccola profondità che a più grande profondità di indagine, nelle diverse configurazioni. Sull'argomento è stata presentata una nota scientifica presentata dai dottorandi collaboratori alla ricerca, al congresso NSG di Dublino e redatta una nota in fase di pubblicazione su una rivista internazionale ISI.

Il sistema è stato poi proposto alla Protezione Civile nazionale per poter essere applicato anche nella zona di L'Aquila, dove i crolli e le lesioni conseguenti al terremoto impediscono l'accesso alle strutture e al relativo sottosuolo. Per questi stessi casi sono stati proposti altri metodi geofisici innovativi oggetto di un'altra proposta di ricerca in ambito PRIN.

Parallelamente, alcuni componenti del team hanno portato avanti lo studio di particolari fenomeni elettrici ed elettromagnetici, quali la polarizzazione indotta negativa e l'effetto sismoelettrico. Tali fenomeni sono stati studiati eseguendo tomografie elettriche 3D nei fori di sonda e profili con energizzazione sismica e acquisizione elettrica (realizzati con altri finanziamenti). L'effetto misurato in corrispondenza di variazioni litologiche brusche e di sovrapposizioni di straterelli sottili di materiale polarizzabile e non polarizzabile pare essere all'origine dei valori negativi nella polarizzazione indotta, mentre non sono ancora ben chiariti i meccanismi per l'innesco del fenomeno sismoelettrico. Infine, la ricerca si è spostata all'applicazione dei metodi elettromagnetici a grande profondità. Sono state individuate due zone di grande interesse geotermico, simili per struttura tettonica ma differenti per i litotipi presenti: Sardara in Sardegna e Caldes de Montbui, in Catalogna. Attualmente i giacimenti termali a media entalpia sono sfruttati solo per scopi termali. In entrambi i siti non sono stati mai realizzati pozzi profondi per cui non è noto il percorso di alimentazione delle sorgenti, né se vi siano possibilità di rinvenire in profondità fluidi ad alta entalpia, che potrebbero portare ad uno sfruttamento anche a scopi energetici. La prospezione effettuata perciò tendeva a riconoscere la distribuzione delle resistività in profondità, per localizzare le aree di provenienza eventualmente mineralizzate a vapore. Nell'area di Sardara sono stati eseguiti 27 sondaggi AMT con ciascuna misura ottenuta con almeno 15 stacks e 5 TEM con loop di 50 e 100 metri.

Nell'area idrotermale di Caldes de Montbui, situata circa 20 km a Nord di Barcellona (Spagna), sono stati realizzate complessivamente 36 sondaggi AMT con ciascuna misura ottenuta con almeno 30 stacks.

Anche in questo caso si è preferito effettuare le misure solamente in modalità passiva senza l'impiego della trasmittente ausiliaria.

Dopo una traduzione dei dati in formato leggibile dai software di inversione si è operata un'inversione e una ricostruzione 3D della distribuzione delle resistività.

Nell'area termale di Sardara sono riconoscibili le aree mineralizzate, il basamento impermeabile scistoso verso sud, il complesso basaltico e l'area termale conduttiva (figura 10)

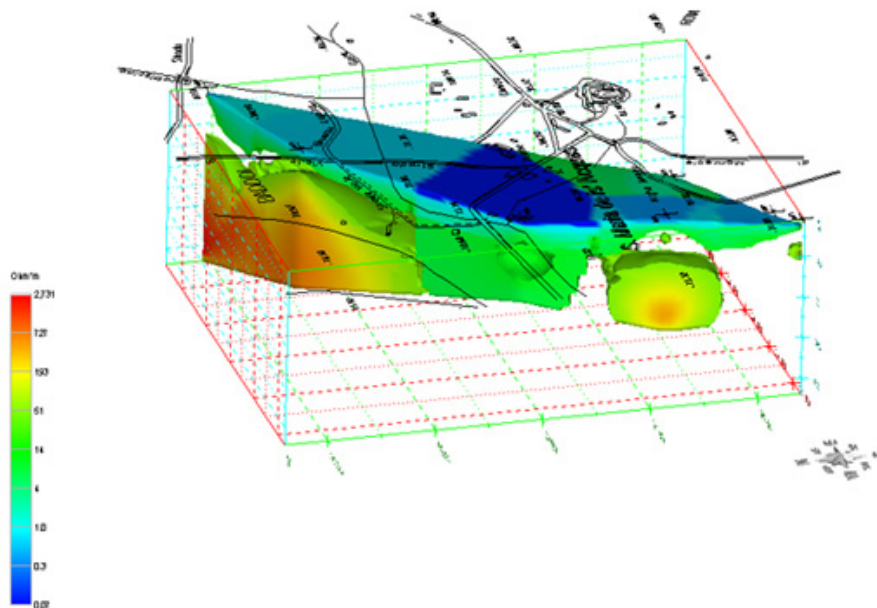


Fig. 10

Per il sito termale di Caldes de Montbui, i risultati ottenuti sono stati composti per essere rappresentati in 3D (figura 11).

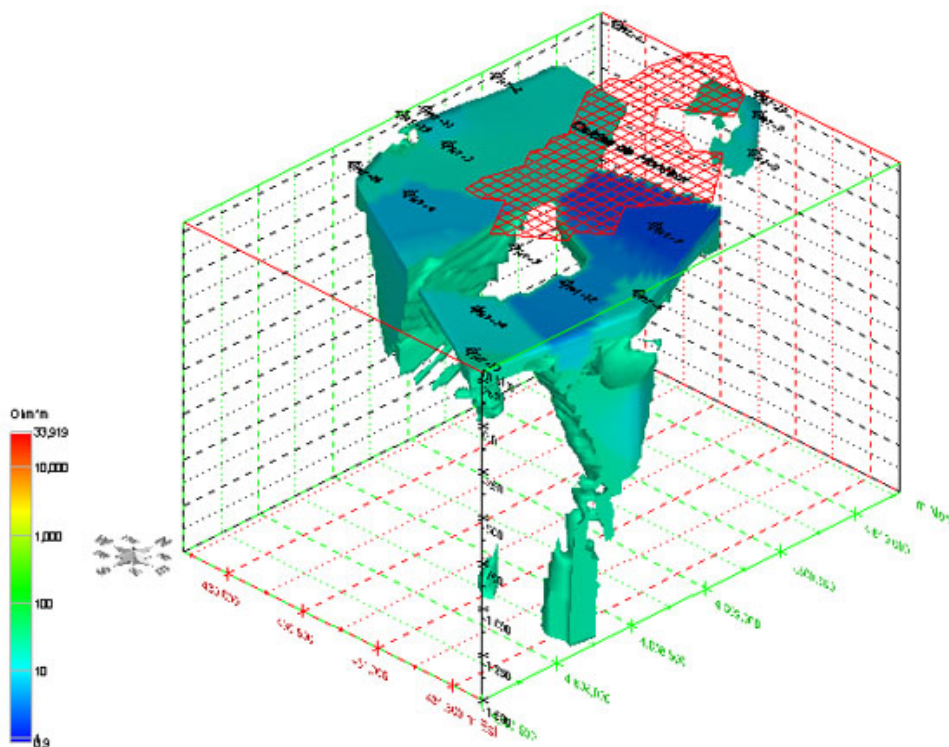


Fig. 11
 La rappresentazione mostra interessanti corrispondenze: il valore minimo di resistività si individua esattamente nelle zone degli affioramenti (tra l'altro in città, dove sono più ampi i disturbi elettrici) e una possibile alimentazione che pare provenire da profondità superiori al chilometro e seguire un percorso subverticale. Anche per questi casi, sono in fase di redazione tre note da inviare per la pubblicazione a riviste internazionali specializzate.

In complesso pur con la forte limitazione dei fondi, praticamente destinati in gran parte all'acquisto di grande attrezzatura o di attrezzature di medio costo, si sono ottenuti buoni risultati in quasi tutti i casi affrontati. Non è stato invece possibile affrontare il problema della protezione degli acquiferi con barriere elettriche che costituiva uno degli obiettivi iniziali del progetto.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

La drastica riduzione dei fondi ha fortemente limitato la ricerca in comune. Sia le riunioni preliminari che le discussioni sull'impostazione della ricerca sono avvenute per via telematica o in occasione di convegni nazionali. Inoltre, la strumentazione necessaria alla ricerca è stata acquisita con un certo ritardo perché i fondi ottenuti erano di gran lunga inferiori a quelli necessari per l'acquisto. Ciò ha comportato una serie di ritardi per la scelta delle attrezzature. Altra limitazione, di altro genere, si è avuta per la stagione particolarmente piovosa che ha impedito spesso il lavoro sul campo. In complesso, però, pur con la forte limitazione dei fondi (riduzione al 55% del budget richiesto) tra l'altro praticamente destinati quasi del tutto all'acquisto di grande e medie attrezzature da campo e da laboratorio, si sono ottenuti discreti risultati in molti dei casi affrontati.

Non è stato inoltre possibile affrontare lo studio attivo della protezione degli acquiferi con barriere elettriche che costituiva uno dei possibili obiettivi del progetto.

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
TOTALE	
da personale universitario	99
altro personale	148
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	28

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	29	0	26°/27°/28° GNGTS TRIESTE 2007/2008/2009 (21 PARTECIPANTI); 7° CONGRESSO GEOITALIA RIMINI 2009 (1); 8° CONGRESSO GEOITALIA RIMINI 2010 (1); 3° CONVEGNO CNR IBINET LIVORNO 2010 (1), 2° CONVEGNO CNR-IBINET NAPOLI (1) 2009; 10° GPR INTERNATIONAL MEETING 2010 LECCE (1); VI FORUM DI SCIENZE DELLA TERRA RIMINI 2007 (2); 3° CENSIMENTO NAZIONALE FAI- CHIAVENNA 2009 (1)

all'estero	11	0	15° NS-EEGS- DUBLINO - Ireland 2009 (4); 16Th NEAR SURFACE -EEGS- ZURIGO Swizerland 2010 (2); VI JORNADES GEOLOGIA COSTERA MINORCA Spain 2009 (1); 7th IAH TOYAMA Japan 2009(1); 6th IAH PERTH Australia 2008 (1); 71° EAGE AMSTERDAM Netherlands 2009 (1); 1° INT. CONFERENCE OF HAZARDOUS WASTE CHANIA Greece 2008 (1)
TOTALE	40	0	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con refere	2	SAMBUELLI L., COMINA C (2010). Fast ERT to estimate pollutants and solid transport in water flow: a laboratory experiment. <i>BOLLETTINO DI GEOFISICA TEORICA E APPLICATA</i> , vol. 51; p. 1-22, ISSN: 0006-6729 CARDARELLI E. (2008). 2D complex anomalies by seismic tomography, (detection and delineation of anomalies with sharp boundaries). <i>BOLLETTINO DI GEOFISICA TEORICA E APPLICATA</i> , vol. 49; p. 265-277, ISSN: 0006-6729
su riviste straniere con refere	6	SAMBUELLI L. (2009). Uncertainty propagation using some common mixing rules for the modelling and interpretation of electromagnetic data. <i>NEAR SURFACE GEOPHYSICS</i> , vol. 7; p. 285-296, ISSN: 1569-4445, doi: 10.3997/1873-0604.2009007 SAMBUELLI L., CALZONI C, PESENTI M (2009). Waterborne GPR survey for estimating bottom-sediment variability: A survey on the Po River, Turin, Italy. <i>GEOPHYSICS</i> , vol. 74; p. B95-B102, ISSN: 0016-8033, doi: 10.1190/1.3119262 SAMBUELLI L., BUTLER K (2009). Foreword. <i>NEAR SURFACE GEOPHYSICS</i> , vol. 7; p. 239-240, ISSN: 1569-4445, doi: 10.3997/1873-0604.2009039 CARDARELLI E., G. DI FILIPPO (2009). Electrical resistivity and induced polarization tomography in identifying the plume of chlorinated hydrocarbons in sedimentary formation: A case study in Rho (Milan - Italy). <i>WASTE MANAGEMENT & RESEARCH</i> , vol. 27; p. 595-602, ISSN: 0734-242X, doi: 10.1177/0734242x09102524 ARDAU F, BALIA R, BARROCU G, GAVAUDO E, RANIERI G. (2009). Assessment of the Capoterra coastal plain (Southern Sardinia, Italy) by means of hydrogeological and geophysical studies. <i>HYDROGEOLOGY JOURNAL</i> , vol. 17; p. 981-997, ISSN: 1431-2174 DE FRANCO R., BIELLA G, TOSI L, TEATINI P, LOZEJ A, CHIOZZOTTO B, GIADA M, RIZZETTO F, CLAUDE C, MAYER A, BASSAN V. AND GASPARETTO-STORI G., 2009. Monitoring saltwater intrusion by time lapse electrical resistivity tomography: The Chioggia test site (Venice Lagoon, Italy). <i>JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS</i> , vol. 69; p. 117-130, ISSN: 0926-98510926-9851
su altre riviste italiane	0	NESSUNA PUBBLICAZIONE
su altre riviste straniere	1	M. DOBROKA, P.N. SZABO, CARDARELLI E., P. VASS (2009). 2D inversion of borehole logging data for simultaneous determination of rock interfaces and petrophysical parameters. <i>ACTA GEODAEITICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA</i> , vol. 44; p. 459-479, ISSN: 1217-8977, doi: 10.1556/AGeod.44.2009.4.7
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	12	SAMBUELLI L., BAVA S., CALZONI C., STOCCO S. (2010). A GPR survey on a morainic lake northerly Turin (Italy). In: <i>GPR2010, Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar. Lecce (ITALY), 21-25 June 2010</i> IEEE, p. 936-941, ISBN/ISSN: 978-1-4244-4605-6 GODIO A, RANIERI G. (2008). Near surface features by TDEM imaging. In: <i>IGARSS - IEEE - GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. BOSTON, 6-11 JULY 2008</i> , vol. 1, p. WE 101.1; 1-WE 101.1; 4 RANIERI G., DEIDDA G.P., LODDO F, PIGA C, CASAS A (2008). Geophysical Characterisation of hazardous industrial and urban waste sites. In: <i>HAZARDOUS URBAN AND INDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT. Chania (Creta), 1-3 October 2008, CHANIA: Department of</i> , vol. 1, p. 1-8 CASAS A, COSENTINO P-L., DIAZ Y, HIMI M, RANIERI G., TAPIAS J.C (2009). Sensitivity analysis of multi-electrode arrays for characterizing the non-saturated zone in groundwater vulnerability assessment. In: <i>Proceedings of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Salvador de Bahia, 24-28 August 2009, SALVADOR DE BAHIA: Mundo Virtual</i> , p. 1-4, ISSN: 2175-455 BARROCU G., DAHAB K.; 2010; Changing climate and saltwater intrusion in the Nile delta, Egypt.; Rivista: <i>Proc. XXXVI IAH Congress, Toyama, Japan.</i> ; Volume: 1 ch 2; pp.: 11-25; ISBN: IAH Selected Paper MORELLI G. FISHANGHER F, GUALERZI D, OCCHI M, RANIERI G., SANTARATO G (2010). 3D Cross-hole Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins: a case history in Venice (Italy). In: <i>Proceeding of Near Surface 2010. Zurich, 6-8 September 2010, UTRECHT: EAGE</i> , vol. 1, p. 1-4, ISBN/ISSN: 90-737-8188-7 CAU P.; MANCA S.; DEIDDA G.P.; RANIERI G.; STITOU EL MESSARI J.E.-; 2009; A web based integrated solution for groundwater management: application of the datacrossing DSS to coastal aquifer management.; <i>Proc. 6th Int. Groundwater Quality Conference . Freemantle; SELECTED PAPER IN IAHS Pub. No. XXX 2008, Vol 1, pp.50-57 ISBN 9781901502794</i> FAVARA R., CANDELA E., LUZIO D., MESSINA N.; 2009; Geochemical and geophysical research aimed at characterizing the hydro-geological structures of a karst formation; 3° International Symposium (Karst evolution in the south Mediterranean Area) TEATINI P, TOSI L, VIEZZOLI A, DE FRANCO R., BIELLA G, TANG C (2010). Driving the modeling of saltwater intrusion at the Venice coastland (Italy) by ground-based, water-, and air-borne geophysical investigations. In:

		<p><i>Proceeding, EWRI-ASCE 2010. Providence, Rhode Island (USA), 16-20 may 2010</i></p> <p><i>CARDARELLI E., M.CERCATO, G. DI FILIPPO (2009). Geophysical Investigation for the rehabilitation of a flood Control Embankment. In: Near Surface Geophysics. DUBLINO, 6/09/2009 10/09/2009, vol. 1</i></p> <p><i>BARROCU G.; 2008; Aquifer salinization and water resources management in coastal areas; Rivista: Proc. 8th Int. Hydrogeology Congress of Greece & 3rd Workshop on Fissured Rocks Hydrology,; Volume: 1; pp.: 1-16; ISBN: ISDN 978-960-88816-4-8</i></p> <p><i>de FRANCO R., BIELLA G., TOSI L., TEATINI P., RORAI C., 2007 - Seasonal Oscillation in saltwater intrusion at the Venice lagoon boundary detected by time-lapse ERT. Proceedings of TIAC-SIACODE 2007, Almeria, 15-19, oct., 2007, In Coastal Aquifer: Challenges and Solutions, Pulido-Bosch A., Lopez-Geta J.A., Ramos Gonzalez G. eds., Instituto Geologico y Minero de Espana, ISBN: 978-84-7840-712-5, 1, 275-283</i></p>
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	3	<p><i>RANIERI G. (2008). Monitoraggio dell'erosione costiera mediante metodi geofisici. In: Atti del Convegno Editore CNR-IBIMET - , pp 39-46 Napoli, 4-6 GIUGNO 2008, SASSARI: CNR-IBINET, vol. 1, p. 39-46, ISBN/ISSN: ISBN 978-88-95597-08-9</i></p> <p><i>CAPIZZI P., COSENTINO P., DE FRANCO R., DI MAIO R., LUZIO D., MARTORANA R., MESSINA N (2009). Studi di base per il monitoraggio elettrotomografico dell'intrusione salina dell'acquifero di Petrosino. In: GNGTS - 28° CONVEGNO NAZIONALE - RIASSUNTI ESTESI DELLE COMUNICAZIONI Trieste, 16-19 novembre 2009,, Trieste: OGS, vol. 28, p. 543-547, ISBN/ISSN: 88-902101-4-1</i></p> <p><i>de FRANCO R., LOZEJ A., BIELLA G., CAIELLI G., CORSI A., MORRONE A., MUSANTI M., CONFORTO A., ALBANI M., CRIPPA M (2009). Prospezioni Geofisiche nell'area del Lago Azzurro di Campodolcino. In: Convegno STUDIO GEOLOGICO SUL LAGO AZZURRO DI CAMPODOLCINO -. Chiavenna, 21-5-2009</i></p>
rapporti interni	0	NESSUN RAPPORTO INTERNO
brevetti depositati	1	<i>COSENTINO P.L., MARTORANA R., & FIANDACA G (2008). Metodo ed apparato di rilevamento tomografico di una distribuzione di resistività in un mezzo. Brevetto No. PD2008A000359.</i>
TOTALE	25	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 20/12/2010 12:14

Firma

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.