



- Cassiani G., Bruno V., Villa A., Fusi N. and Binley A.M. (2006) - A saline tracer test monitored via time-lapse surface electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 59, 244-259.
- Deiana R., Cassiani G., Kemna A., Villa A., Bruno V. and Bagliani A. (2007) - An experiment of non-invasive characterization of the vadose zone via water injection and cross-hole time-lapse geophysical monitoring. *Near Surface Geophysics*, 5, 183-194.
- de Groot-Hedlin C.D. and Constable S.C. (1990) - Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.
- Hem, J.D. (1985) - *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, 3rd ed. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, vol. 2254. Washington, DC.
- Kemna A., Vanderborght J., Kulesa B. and Vereecken H., (2002) - Imaging and characterisation of subsurface solute transport using electrical resistivity tomography (ERT) and equivalent transport models. *Journal of Hydrology*, 267, 125-146.
- Lloyd J.W., Heathcote J.A. (1985) - *Natural Inorganic Hydrochemistry in Relation to Groundwater*. Clarendon Press, Oxford, England.
- Martinez-Pagan P., Jardani A., Revil A., and Haas A. (2010) - Self-potential monitoring of a salt plume. *Geophysics*, 75, 17-25.
- Slater L., Binley A.M., Versteeg R., Cassiani G., Birken R., and Sandleberg S. (2002) - A 3D ERT study of solute transport in a large experimental tank. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 211-229.
- Van Genuchten M. Th. (1980) - A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898
- Wood W.W. (1976) - *Guidelines for collection and field analyses of groundwater samples for selected unstable constituents*. *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Book 1, Chapter D2. U.S. Geological Survey, Washington, DC.



INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE AD ALTA RISOLUZIONE PER LA DIAGNOSTICA DELLE PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI

L. Di Giambattista, E. Cardarelli, M. Cercato, G. De Donno, L. Orlando, B. Renzi
DICEA, Area Geofisica, Università "Sapienza", Roma



Introduzione. Nel corso della loro vita utile, le pavimentazioni aeroportuali devono garantire qualità, affidabilità e sicurezza, al fine di minimizzare eventuali rischi dovuti a fenomeni di rottura e cedimento strutturale. Tali pavimentazioni non devono altresì presentare irregolarità o caratteristiche che possano deteriorare le capacità di controllo direzionale dell'aeromobile, la capacità frenante dei sistemi antislittamento o condizionare la corsa di un velivolo (Manassero e Dominijanni, 2010).

È quindi necessario valutare lo stato di conservazione e individuare i parametri fisico-meccanici del complesso pavimentazione-terreno di fondazione, al fine di verificare da una parte la conformità al progetto originale in fase di collaudo, nonché individuare zone usurate, anomale o potenzialmente soggette a cedimento durante l'utilizzo dell'infrastruttura.

È pertanto di fondamentale importanza mettere a punto un'accurata e consistente attività di rilevamento e di monitoraggio dei principali parametri geometrici e fisico-meccanici della pavimentazione, che renda più affidabili le scelte manutentive da mettere in opera. In tal senso, i metodi non distruttivi ed in particolare i metodi geofisici permettono di effettuare test su pavimentazioni in maniera rapida, totalmente non invasiva e a basso costo.

Negli ultimi anni sono stati fatti significativi passi in avanti nel campo delle pavimentazioni stradali, utilizzando degli indicatori diretti della portanza strutturale attraverso una stima in sito dei valori tanto degli spessori quanto dei moduli elastici degli strati che costituiscono la pavimentazione (Goel e Das, 2008). Inoltre, tali proprietà possono essere anche monitorate nel tempo, fornendo così un utile strumento di valutazione nella fase di gestione e di progettazione di una pavimentazione stradale.





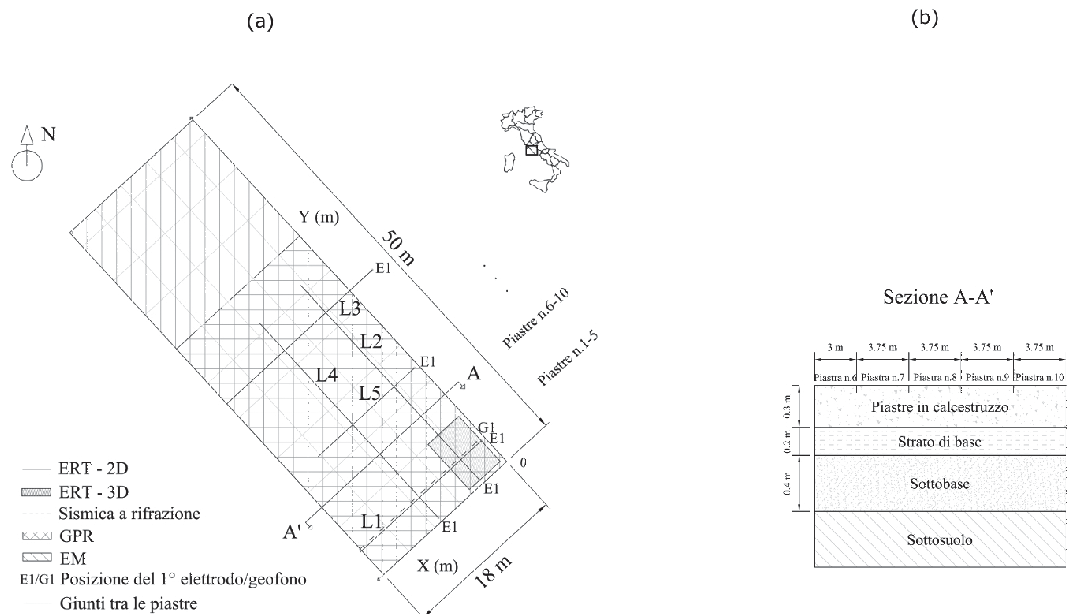
Poiché una singola tecnica geofisica spesso non è in grado di raggiungere la totalità degli obiettivi richiesti in termini di accuratezza e univocità interpretativa, in molti casi si opta per un approccio integrato di più metodologie, come è prassi comune nei rilievi geofisici degli ultimi anni (Piro *et al.*, 2001; Cardarelli *et al.*, 2014).

Il target richiesto per le indagini in ambito aeroportuale colloca le necessità diagnostiche nel campo dell'alta risoluzione. In particolare per la valutazione dell'integrità strutturale delle pavimentazioni aeroportuali sono necessari sia un grado di risoluzione elevato nel primo metro dal piano di campagna, al fine di individuare eventuali fratture nella pavimentazione, ma anche una buona penetrazione in profondità, per caratterizzare correttamente il suolo di fondazione.

Sulla base di quanto sopra descritto, si è eseguito un rilievo geofisico integrato con l'obiettivo di ricavare i parametri necessari alle verifiche delle condizioni attuali di un piazzale di sosta prospiciente un hangar aeroportuale e integrare le conoscenze dedotte dagli elaborati di progetto. In particolare sono state eseguite indagini georadar (GPR), elettromagnetiche a bassa frequenza (EM), di tomografia elettrica (ERT) e di tomografia sismica a rifrazione (SRT) per verificare le capacità diagnostiche e le potenzialità di integrazione dei vari metodi.

L'interpretazione integrata dei risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area d'indagine, ha costituito uno strumento utile per la determinazione di eventuali scostamenti tra il progetto originale e l'effettivamente costruito (*as-built*), per l'individuazione di eventuali anomalie relative a zone maggiormente deteriorate e conseguentemente per la pianificazione di successivi interventi di monitoraggio e/o messa in sicurezza delle piste aeroportuali.

Descrizione del sito e metodi di indagine. L'area di studio, collocata all'interno di un complesso aeroportuale situato nell'Italia centrale, è costituita dal piazzale di sosta di un hangar in costruzione, attualmente adibito alla sosta di aerei ed elicotteri per le periodiche prove di manutenzione. Tale piazzale è costituito da una pavimentazione rigida a piastre di dimensioni variabili per un'estensione totale di circa 18 x 50 m (Fig. 1a). In Fig. 1b è riportata una sezione tipo della struttura con i tipi di materiali e spessori medi di ciascuno strato. Da un esame visivo si sono osservate fratture superficiali con andamento ricorrente in direzione x.



Sono state impiegate tecniche GPR, EM, ERT e SRT. I parametri utilizzati per l'acquisizione dei dati sono riportati in Tab. 1.

Tab. 1 - Parametri di acquisizione in sito.

Tecnica	Parametri di acquisizione
Elettromagnetica a bassa frequenza (EM)	<i>Strumento:</i> Elettro-magnetometro GSSI Profiler EMP 400 <i>Frequenze:</i> 2, 8 and 16 kHz <i>Grid spacing:</i> 0.5 m <i>Area investigata:</i> 18 x 50 m
Ground Penetrating Radar (GPR)	<i>Strumento:</i> IDS antenna <i>Frequenze:</i> 200, 600 e 900 MHz <i>Grid spacing:</i> 0.5 m <i>Area investigata:</i> 18 x 34 m
Electrical Resistivity Tomography (ERT)	<i>Strumento:</i> Iris Syscal Pro resistivimetro <i>Array:</i> Polo-dipolo roll-along per le linee 2D, polo-dipolo 16x3 array (3D grid) <i>Elettrodi:</i> 48 piastre in rame (10x10 cm) <i>Spaziatura elettrodica:</i> 0.3 m
Seismic Refraction Tomography (SRT) - Onde P e S	<i>Strumento:</i> 2 sismografi Geode Geometrics <i>Sorgente sismica:</i> mazza da 1 kg battente su barra di legno/alluminio <i>Ricevitori:</i> 36 geofoni da 40 Hz (onde P) e 48 geofoni da 8 Hz (onde S) <i>Spaziatura geofonica:</i> 0.3 m <i>Distanza tra gli spari:</i> 0.3 m

Per le indagini GPR si è scelto di realizzare un grigliato regolare in modo da coprire la zona d'interesse con un grado di risoluzione elevato. È stata così predisposta una maglia di dimensioni 18x34 m, a passo di 0.5 m nelle due direzioni, ed è stata effettuata l'acquisizione dei profili GPR in direzione x e y (Fig. 1a). A seguito di alcuni test preliminari e per conseguire la profondità d'indagine richiesta e la risoluzione desiderata, si è scelto di utilizzare le antenne da 200, 600 e 900 MHz. L'uso di antenne a diversa frequenza permette di investigare con diversa risoluzione le strutture costituite da strati di spessori limitati e caratteristiche elettromagnetiche simili (Saarenketo e Scullion, 2000). I dati acquisiti sono stati sottoposti ad un processing (amplificazione, filtraggio e migrazione) per eliminare eventuale noise sistematico (p.es. gli arrivi delle onde dirette in superficie) e aleatorio (p.es. i disturbi ambientali).

Per le indagini elettromagnetiche a bassa frequenza (EM) si è utilizzato un elettromagnetometro GSSI Profiler EMP-400, che permette di acquisire a tre frequenze diverse, variabili tra 1 e 16 kHz. Per l'acquisizione si sono selezionate le frequenze pari a 2, 8 e 16 kHz. Anche per le indagini EM si è scelta una griglia regolare di dimensioni 18 x 50 m e spaziatura di 0.5 m nelle due direzioni (Fig. 1a). Sono state quindi ottenute delle mappe di conducibilità apparente e di suscettività magnetica per le diverse frequenze.

Le indagini ERT e SRT sono state invece focalizzate in zone specifiche, in cui le indagini GPR e EM avevano riscontrato anomalie. Come descritto nell'introduzione, i metodi sismici hanno lo scopo ulteriore, rispetto alle indagini elettriche ed elettromagnetiche, di permettere una stima delle proprietà elastiche della pavimentazione in termini di velocità delle onde P ed S con possibilità di una conseguente stima diretta delle costanti elastiche (modulo di Young, coefficiente di Poisson, ecc.).

Per le misure ERT è stato impiegato l'array polo-dipolo, che combina la potenza del segnale ad una buona risoluzione e profondità di indagine. L'inversione dei dati di resistività apparente

2D è stata effettuata utilizzando l'algoritmo VERDI (Cardarelli e Fischanger, 2006), basato su un'inversione alla Occam di tipo Gauss-Newton con la possibilità di inserimento di vincoli di disuguaglianza, per l'introduzione delle informazioni a priori nel processo di inversione. In questo caso, non è stata fatta alcuna ipotesi preliminare sulla stratificazione del terreno. I dati ERT 3D sono stati invertiti utilizzando il software commerciale ErtLab[®] della Multi-Phase Technologies, LLC e Geostudi Astier.

I dati sismici sono stati acquisiti impiegando un sistema a 36 canali con geofoni verticali a 8 Hz (vedi Tabella 1) per le onde P e un sistema a 48 canali con geofoni orizzontali a 50 Hz per le onde SH. Per consentire una ricostruzione tomografica ad alta risoluzione (HR), si è posta una distanza fra gli scoppi pari al doppio delle distanze geofonica. Per l'acquisizione ad onde SH, si è impiegata una sorgente leggera in legno/alluminio che permette di migliorare il picking del tempo di arrivo delle onde S, tramite la polarizzazione dell'onda nei due versi opposti nella direzione trasversale rispetto alla linea sismica. L'inversione tomografica è stata effettuata utilizzando l'algoritmo sviluppato da Cardarelli e de Nardis (2001), impiegando il metodo (LTI) (Linear Traveltime Interpolation) per il ray-tracing (Asakawa e Kawanaka, 1993) e il gradiente biconiugato per la soluzione del problema inverso (Cardarelli e Cerreto, 2002).

Risultati. Lo screening preliminare, eseguito con l'elettromagnetometro a bassa frequenza (EM), ha evidenziato, considerando la frequenza di 16 kHz, due principali zone anomale (Fig. 2a): una zona rettangolare resistiva (A in Fig. 2a) situata a $y = 6-18$ m e $x = 10-28$ m ed una striscia conduttiva (B in Fig. 2a) estesa lungo la direzione x a $y = 0-3$ m.

I dati GPR acquisiti su una griglia 18×34 m, confermano i risultati della prova EM rispetto alla forma delle anomalie, infatti il confronto mostra un'ottima sovrapposizione dell'anomalia B e una correlazione tra la resistività dell'anomalia A relativa alle mappe di conducibilità con l'alto scattering radar della zona centrale dei dati acquisiti con l'antenna da 600 MHz. Inoltre i dati GPR garantiscono maggiori informazioni circa la profondità delle stesse.

Infatti mappando i dati GPR tramite time-slices relative alla profondità di 0-30 e 130 cm (Figg. 2b e 2c, antenna 600 MHz), si può discriminare la diversa risposta dei vari materiali in termini di dispersione di energia. Le Figg. 2b (time-slice a profondità di 30 cm) e 2c (time-slice a profondità di 130 cm) evidenziano come la zona rettangolare resistiva (A) si trovi ad profondità di 30-40 cm, ovvero nella zona dello strato di base, e che la striscia conduttiva (B) sia legata a fenomeni che avvengono ad di sotto della profondità minima di posa della pavimentazione (circa 0.9 m), probabilmente correlati ad una struttura preesistente (strada, piattaforma di cemento, ecc.).

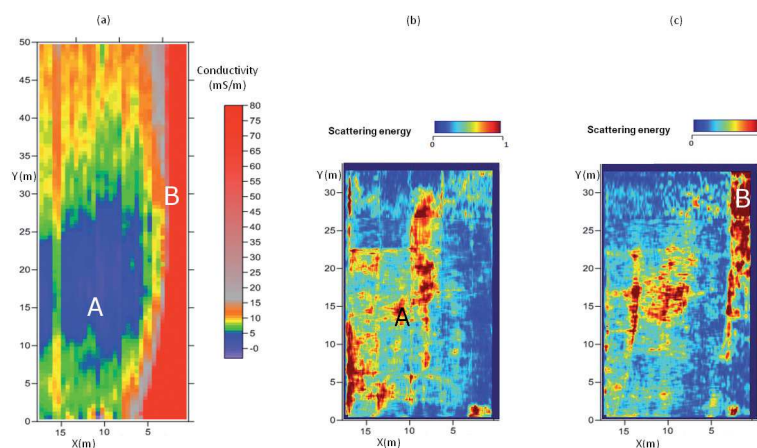


Fig. 2 – a) Mappa della conducibilità EM a 16 kHz. b) Time-slice GPR a una profondità di 30 cm dal p.c. ottenuta sommando l'energia per finestre di 30 cm c) Time-slice GPR a una profondità di 130 cm dal p.c. ottenuta sommando l'energia per finestre di 60 cm. I dati GPR sono relativi all'antenna da 600 MHz.



Le sezioni verticali GPR confermano il dato progettuale: la pavimentazione risulta formata da un sistema a tre strati, in cui il primo, avente uno spessore di 30 cm, è sempre ben rilevabile, mentre il secondo (strato di base di circa 20 cm di Fig. 1a) spesso rimane indistinguibile dal terzo (sottobase di circa 40 cm in Fig. 1b).

Partendo da questi risultati la seconda parte della campagna di indagini geofisiche è stata focalizzata nelle specifiche zone in cui sono state riscontrate anomalie significative. I modelli ERT 2D sono in grado di ricostruire solo due strati del pacchetto della pavimentazione (30-40 ohm×m fino a 30 cm e 200-600 ohm×m fino a 90-100 cm), mentre la sabbia limosa presente in sito ha un valore di resistività di circa 30-40 ohm×m. Tuttavia un migliore grado di risoluzione è stato ottenuto dai dati ERT 3D (11 array 3D formati ciascuno da 16 x 3 elettrodi spazati 30 cm), ubicata nell'angolo SE dell'area di indagine in Fig. 1a. Il modello risultante dall'inversione, mappato come sezione orizzontale a 20 cm di profondità (Fig. 3a), mostra sia il giunto tra le piastre n. 1 e n. 2 che una zona resistiva anomala situata all'interno della piastra n. 1 ad x=0-1,2 m. Confrontando detta sezione orizzontale con la time-slices GPR a 30 cm di profondità in Fig. 2b, si può notare come quest'ultima anomalia resistiva risulti essere chiaramente sovrapposta ad una zona ad alta dispersione (in basso a destra in Fig. 2b). Queste evidenze potrebbero essere dovute ad una composizione disomogenea dello strato di base o ad una instabilità strutturale verificatasi al livello dell'interfaccia tra la piastra di calcestruzzo e lo strato di base.

Oltre alla caratterizzazione geometrica della pavimentazione e all'individuazione di zone anomale, derivanti o da una difformità tra l'effettivamente costruito e il progetto originale o a un fenomeno di cedimento strutturale intervenuto a seguito della costruzione e verificatosi al di sotto delle piastre di cemento, l'autorità aeroportuale necessitava di una indicazione dei parametri elastici (ad es. i moduli elastici) per valutare la capacità di ciascuna piastra di sopportare il massimo carico verticale di progetto. La tomografia sismica a rifrazione può soddisfare tale obiettivo laddove i parametri meccanici varino sostanzialmente rispetto a quelli valutati in una zona indisturbata. Tuttavia questo tipo di indagine non presenta i caratteri di rapidità ed economicità richiesti per un'applicazione a larga scala, soprattutto per indagini ad alta risoluzione (griglia 30x30 cm), in quanto necessiterebbe di una meccanizzazione del sistema di acquisizione sismica. I risultati della tomografia sismica,

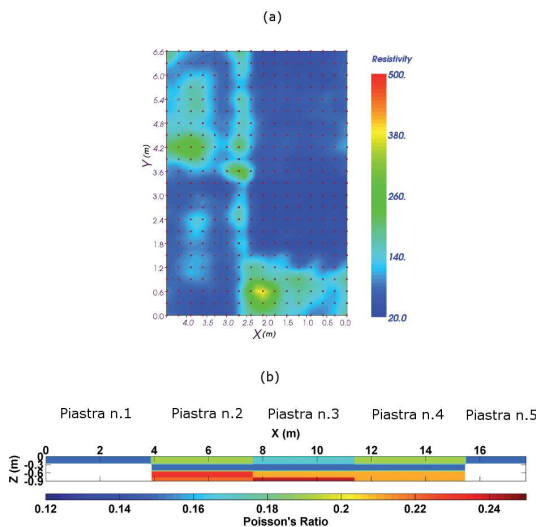


Fig. 3 – a) Sezione orizzontale del modello ERT 3D ad una profondità di 20 cm. La resistività è espressa in ohm·m. b) Sezione del coefficiente di Poisson risultante dall'inversione tomografica di dati sismici ad onde P ed S.

eseguiti sulla linea denominata L1 in Fig. 1a, sono raffigurati in Fig. 3b come sezione del coefficiente di Poisson. Tramite l'inversione tomografica dei dati sismici si è ricostruito un range di velocità delle onde P (V_p) variabile dai 1100 m/s (piastre di cemento) ai 2700 m/s (sottobase) e un corrispondente range di velocità delle onde S (V_s) di 700-1600 m/s.

Il coefficiente di Poisson σ risultante è dato dalla seguente formula:

$$\sigma = 0.5 \frac{\beta^2 - 2}{\beta^2 - 1}$$

dove β è il rapporto tra V_p e V_s .

Le piastre n.1 e n. 5 sono caratterizzate da una scarsa o nulla densità di raggi sismici: di



conseguenza σ è stato valutato in queste zone solo per il primo strato. Considerando le piastre dal n.2 al n.4, si è riscontrata una distribuzione del coefficiente di Poisson coerente con la stratificazione della pavimentazione. Le piastre di cemento hanno un valore di σ di 0.17-0.18, mentre per lo strato di base e la sottobase σ è rispettivamente pari a 0.14-0.15 e 0.21-0.24. Questi valori sono coerenti con quelli proposti p.es. da Cruzado (2006) su materiali da costruzione simili.

Conclusioni. L'integrazione di metodi geofisici di comprovata affidabilità (georadar, elettromagnetici, elettrici e sismici a rifrazione) rappresenta un importante strumento per la valutazione dell'integrità e dell'affidabilità di una pavimentazione aeroportuale. Tali metodologie sono rapide ed economiche e possono essere utilizzate per mappare ampie aree durante la fase di collaudo, al fine di discriminare le aree critiche laddove il costruito differisca dal progetto originale.

In aggiunta al metodo GPR, che è una tecnica ormai consolidata per queste applicazioni, i metodi elettrici e sismici ad alta risoluzione possono fornire un ulteriore contributo al fine di determinare i parametri geometrici, fisici e meccanici della pavimentazione. In particolare, la campagna geofisica ha portato alla validazione della geometria di progetto della pavimentazione, costituita da tre strati aventi rispettivamente uno spessore medio di circa 30, 20 e 40 cm, ciascuno caratterizzato da un alto grado di variabilità sia in direzione x che y. Il primo strato, composto da piastre in cemento, è relativamente omogeneo e caratterizzato da bassa resistività (circa 30-40 ohm \times m) e coefficiente di Poisson di circa 0.17-0.18. Lo strato di base che copre l'intera area ad una profondità di 30-50 cm è più disomogeneo restando, in alcune aree, non distinguibile dallo strato sottostante e presenta un diverso comportamento fisico-meccanico (resistività di circa 200-600 ohm \times m e coefficiente di Poisson di 0.14-0.15). La sottobase presenta valori di resistività simili allo strato precedente, ma diverso Poisson (0.21-0.24). I coefficienti di Poisson dei tre strati sono coerenti con quelli desunti da lavori di letteratura su campioni di laboratorio. Al di sotto dei tre strati costituenti la pavimentazione, si rileva uno strato a bassa resistività (40-50 ohm \times m) relativo alle sabbie limose presenti in-situ che coprono l'intera area, ad eccezione di alcune zone anomale dove gli alti valori di resistività indicano la presenza di una struttura preesistente.

Pertanto la procedura sperimentale adottata ha fornito modelli affidabili sia in termini di errore dei modelli ricostruiti che di ripetibilità dei risultati. Sebbene il primo strato sia stato ben rilevato e modellato utilizzando tutte le metodologie, la ricostruzione ERT ha lo svantaggio di perdere risoluzione in profondità mentre il GPR ha una penetrazione limitata del segnale in profondità. Qualora si renda necessaria anche una caratterizzazione meccanica per valutare il carico verticale massimo, la tomografia sismica a rifrazione ha il vantaggio sostanziale, rispetto a metodi quali il Falling Weight Deflectometer (FWD), di calcolare valori di velocità delle onde sismiche e conseguentemente il coefficiente di Poisson (o il modulo di Young o il modulo di taglio) per ogni strato e per ogni piastra. Questo ha portato ad una ricostruzione ad alta risoluzione della pavimentazione analizzata rispetto al valore singolo (ad esempio il modulo di taglio) ottenuto con il FWD su un volume d'interesse. D'altro canto, poiché i metodi sismici non sono sempre rapidi, soprattutto nel caso di tomografia ad alta risoluzione, è necessario un ulteriore sviluppo di un sistema meccanizzato per il rilevamento in continuo, comprendente la sorgente, gli streamer e i cavi.

Pertanto le tecniche GPR, EM ed ERT possono essere ampiamente utilizzate per ricavare informazioni sulla stratificazione, sia facendo riferimento allo spessore della piastra (il cui valore medio non deve essere inferiore di oltre il 5% rispetto al progetto originale) che allo spessore e al grado di conservazione dei materiali sottostanti (strato di base e sottobase). Più in dettaglio, gli array ERT 2D e/o 3D possono essere applicati per caratterizzare senza ambiguità interpretative le zone anomale precedentemente individuate da una fase di screening mediante indagini GPR e/o EM, in cui i valori di resistività più elevati possono essere associati a zone areate e/o con maggiore contenuto di inerte e quindi maggiormente soggette a rottura.





Successivamente un'indagine mirata sulle aree anomale, dovrebbe comprendere un rilievo SRT per la stima dei parametri meccanici. Un successivo sviluppo di questo approccio integrato potrà comprendere il monitoraggio dei parametri fisico-meccanici nel tempo, al fine di regolare le attività di manutenzione e di evitare il verificarsi di condizioni critiche sulla struttura.

Ringraziamenti. Questo lavoro è stato finanziato dall'Università "Sapienza" di Roma tramite un progetto di Ateneo 2012 dal titolo "Non destructive tests for the diagnosis of pavements and structures". Responsabile scientifico: Luciana Orlando.

Si ringraziano Francesco Pugliese e Stefano Pagano dell'Università "Sapienza" di Roma per il loro contributo all'acquisizione dei dati e la Prof.ssa Paola Di Mascio per il contributo nell'integrazione dei dati di progetto.

Bibliografia

- Asakawa E., Kawanaka T.; 1993: Seismic ray tracing using linear travel time interpolation. *Geophysical Prospecting*, 41, 99–111.
- Cardarelli E., Cercato M., De Donno G.; 2014: Characterization of an earth-filled dam through the combined use of electrical resistivity tomography, P-and SH-wave seismic tomography and surface wave data. *Journal of Applied Geophysics*, 106, 87-95.
- Cardarelli E., Cerreto A.; 2002: Ray tracing in elliptical anisotropic media using linear travelttime seismic interpolation (LTI) method applied to travelttime seismic tomography. *Geophysical Prospecting*, 50, 55–72.
- Cardarelli E., De Nardis R.; 2001: Seismic Refraction, isotropic and anisotropic seismic tomography on an ancient monument. *Geophysical Prospecting*, 49, 228–240.
- Cardarelli E., Fischanger F.; 2006: 2D data modelling by electrical resistivity tomography for complex subsurface geology. *Geophysical Prospecting*, 54, 121-133.
- Cruzado M.G.; 2006: *Ingeniería Aeroportuaria*. Editorial UPM, 3ª Edición, ETSI Aeronáuticos, Madrid.
- Goel A., Das A.; 2008: *Nondestructive testing of asphalt pavements for structural condition evaluation: a state of the art. A state of the art. Nondestructive Testing and Evaluation*, 23, 121-140.
- Manassero M., Dominijanni A.; 2010: Riqualfica Strutturale di un Sistema di Piste Aeroportuali, *Rivista italiana di geotecnica*, 21, 46-66.
- Piro S., Goodman D., Nishimura Y.; 2001: High-resolution GPR survey in Forum Novum site (Vescovio, Rieti). *Journal of Roman Archaeology*, 14, 60-79.
- Saarenketo T., Scullion T.; 2000: Road evaluation with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 43, 119–138.

INTEGRATION OF GEOPHYSICAL TECHNIQUES FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WATER RESOURCE IN AGRICULTURE

A. Satriani¹, F. Soldovieri², M. Catalano³, E. Scalcione³, A. Loperte¹

¹*Institute of Methodologies for Environmental Analysis (IMAA-CNR), Tito Scalo (PZ), Italy*

²*Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment (IREA-CNR), Napoli, Italy*

³*Agency for the Agricultural Development and Innovation (ALSIA), Basilicata Region, Matera, Italy*

Introduction. The efficient use of water is one of the main objectives for the sustainable management of natural resources in agriculture. As well known, water is a fundamental resource for the metabolic activities of crops, but this resource is available in limited quantities and therefore optimizing the use of water in irrigation practice is very important for a sustainable management of it. A possible technological solution based on the integration between geophysical techniques for soil moisture measure and soil water spatial monitoring as time domain reflectometry (TDR), ground penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) technique can be used.

Of course, with the use of these technologies the opportunity to know the current soil moisture status and how it is distributed in the soil is useful to determine the actual water requirement of a crop, with the result of optimizing the use of water in irrigation practice for

