

# INDAGINI NON INVASIVE SU ALCUNE COLONNE DELLA VILLA ROMANA DEL CASALE, A PIAZZA ARMERINA

P.Capizzi<sup>1</sup>, G.Navarra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dott.Geol P.Capizzi

<sup>2</sup> Dott.Ing. Giuseppe Navarra DISMAT s.r.l. Contrada Andolina S.S. 122 Km 28 – 92024 Canicatti (Ag) Tel 0922/859406 – Fax 0922/853877 [info@dismat.it](mailto:info@dismat.it)

<sup>3</sup> Speaker: G. Navarra

Conservazione dei Beni Culturali

## Abstract

Alcune indagini non invasive sono state eseguite a supporto delle prove di verifica delle colonne prospicienti il Corridoio della Grande Caccia della Villa Romana del Casale, a Piazza Armerina. Scopo del progetto di indagine è la localizzazione di eventuali perni metallici e anomalie interne nelle dieci colonne che separano il Corridoio della Grande Caccia dal Peristilio e valutare il livello di portanza delle singole colonne. A tale scopo sono state eseguite indagini georadar e soniche.

Le indagini georadar sono state effettuate utilizzando un apparecchiatura munita di antenna con frequenza centrale di 1000 MHz in modalità monostatica, per ogni colonna, sono stati acquisiti 4 profili verticali nel fusto, speculari a due a due, e due profili orizzontali: uno base del capitello e l'altro alla base del capitello.

Operando con apparecchiatura sonica con sonde di 20 kHz, sono state effettuate circa un centinaio di acquisizioni, allo scopo di ricostruire, per ciascuna colonna, un diagramma di distribuzione delle velocità sonica (Tomografia) e indagare sull'integrità del materiale costituente.

## Indagini georadar

Il Georadar è un oggi un metodo non invasivo largamente utilizzato verificare e localizzare la presenza di discontinuità all'interno dei materiali (Conyers, 2004; Daniels, 2004; Radzevicius et al., 2000; Sambuelli et al., 2011).

Sono stati ottenuti ottimi risultati dai molti studi sulla possibilità di utilizzare il metodo georadar per l'individuazione e la localizzazione di fratture e lesioni nei materiali indagati (Grandjean and Goury, 1996; Rashed et al., 2003; Pérez-Gracia et al., 2009; Bavusi et al., 2010).

Le indagini georadar sono state effettuate utilizzando la strumentazione Georadar della GSSI – Geological Survey System Inc – modello SIR 3000 e un'antenna con frequenza centrale di 1000 MHz, in modalità monostatica. Un'attenta taratura delle velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nei materiali analizzati (roccia e calcestruzzo), ha permesso di trasformare i tempi di andata e ritorno delle onde riflesse in “profondità dei riflettori”, stimando un valore della velocità delle onde

elettromagnetiche nel mezzo di circa 0.10 m/ns, per la roccia, e di 0.12 m/ns, per la malta.

Le colonne indagate sono state numerate come mostrato in figura 1. Per ogni colonna sono stati acquisiti 4 profili verticali nel fusto, speculari a due a due. Due sezioni verticali per ogni colonna (Fig. 2), sono infine state ottenute integrando i profili speculari tra loro, in modo da utilizzare la parte a maggiore dettaglio di ciascuno di questi (quella vicina alla superficie di acquisizione). Alcuni profili orizzontali (Fig. 2) sono inoltre stati acquisiti alle estremità del fusto e alla base del capitello delle colonne, per mettere in evidenza eventuali perni di collegamento tra la base e il fusto e tra il fusto e il capitello.

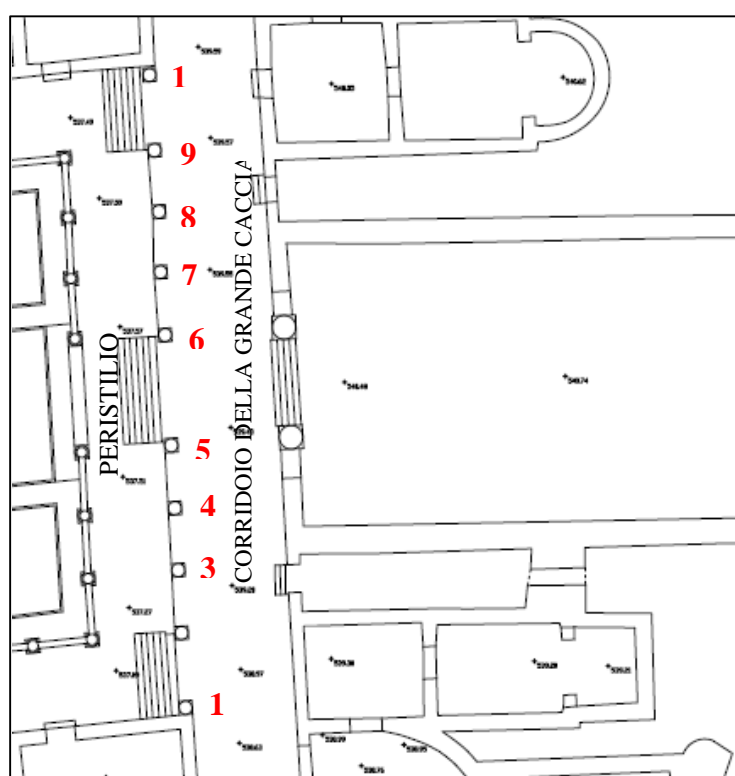


Fig. 1 – Numerazione delle colonne.

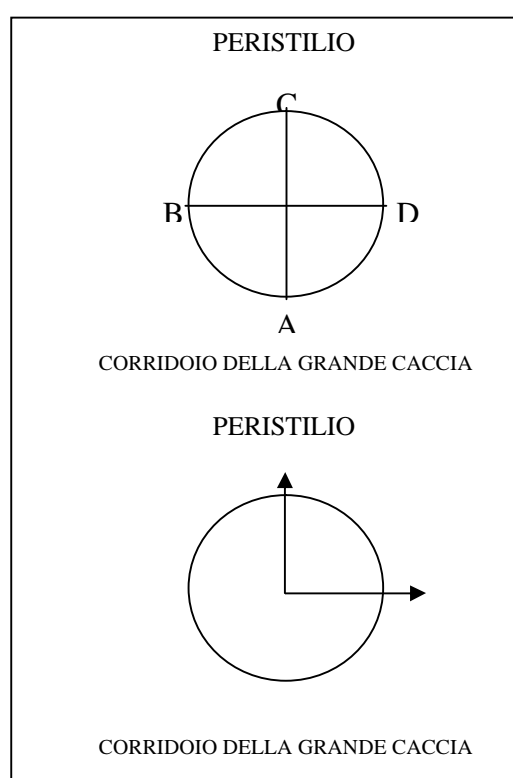


Fig. 2 – sistemi di riferimento per le sezioni verticali (sopra) e per i profili circolari (sotto).

Un forte elemento di disturbo è stato rappresentato dalla presenza di un'impalcatura metallica attorno a tutte le colonne, che ha creato problemi di interpretazione e in alcuni casi di acquisizione. Proprio a causa della presenza dell'impalcatura metallica, troppo vicina alle colonne, nella colonna 1 non è stato possibile acquisire i profili all'estremità inferiore del fusto e nel capitello e, nella colonna 10, il profilo all'estremità inferiore del fusto.

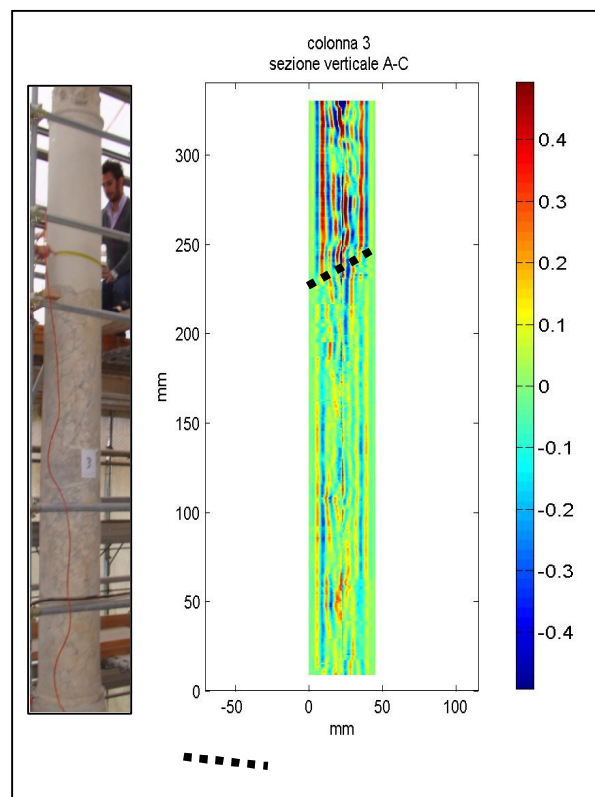
Ogni profilo georadar è stato elaborato per eliminare il rumore coerente ed incoerente presente nei dati originali, attraverso l'applicazione di un filtro orizzontale (background removal), un filtro in frequenza e una migrazione di tipo Kirchoff.

L'applicazione del background removal ha permesso di eliminare il rumore coerente lungo la direzione di acquisizione del profilo, rendendo quindi visibili segnali che prima erano "coperti" dai disturbi eliminati.

Il filtro in frequenza +è stato utilizzato per eliminare rumore elettromagnetico caratterizzato da frequenze diverse da quelle del segnale inviato. Per le indagini eseguite con l'antenna da 1000 MHz è stato utilizzato un filtro passabanda abbastanza ampio di 250-1200 MHz.

La migrazione di tipo Kirchoff è una migrazione applicata ad un profilo bidimensionale sulla base di una velocità di propagazione costante. Nel caso specifico si è utilizzata la velocità di propagazione media pari a 0.11 m/ns. Lo scopo della migrazione è di riportare le riflessioni e le diffrazioni nella corretta posizione dell'oggetto che le ha generate e, in particolare, di eliminare le cosiddette "iperboli di diffrazione".

I profili georadar verticali, acquisiti nel fusto delle colonne, sono stati utilizzati per ricostruire delle sezioni verticali, sono state ottenute integrando i profili speculari tra loro, in modo da utilizzare la parte a maggiore dettaglio di ciascuno di questi (quella vicina alla superficie di acquisizione). In pratica, ogni sezione verticale è ottenuta dall'unione dei primi 4 ns circa di ciascuno dei due profili speculari, considerando l'immagine a sua volta speculare di uno di questi. **Fig. 3** – Sezione verticale A-C



**Fig. 3** – Sezione verticale A-C ottenuta per la colonna 3, che evidenzia il passaggio tra malta e roccia.

ottenuta per la colonna 3, che evidenzia il passaggio tra malta e roccia.

In quasi tutte le colonne, le sezioni verticali hanno messo in evidenza il passaggio tra roccia e malta (Fig. 3), ad eccezione delle colonne 4 e 8, costituite interamente da roccia. Questo passaggio è evidenziato da un'inversione di fase netta, dovuta alla differente velocità di propagazione tra i due materiali. In questo modo è stato possibile seguire l'andamento della superficie di separazione anche all'intero delle colonne.

Le sezioni verticali hanno anche messo in evidenza la presenza di staffe metalliche orizzontali nella parte inferiore delle colonne 1, 5, 6 e 10 (Fig. 4) e la presenza di alcuni perni metallici in corrispondenza del passaggio tra malta e roccia, in quasi tutti i casi (Fig. 5).

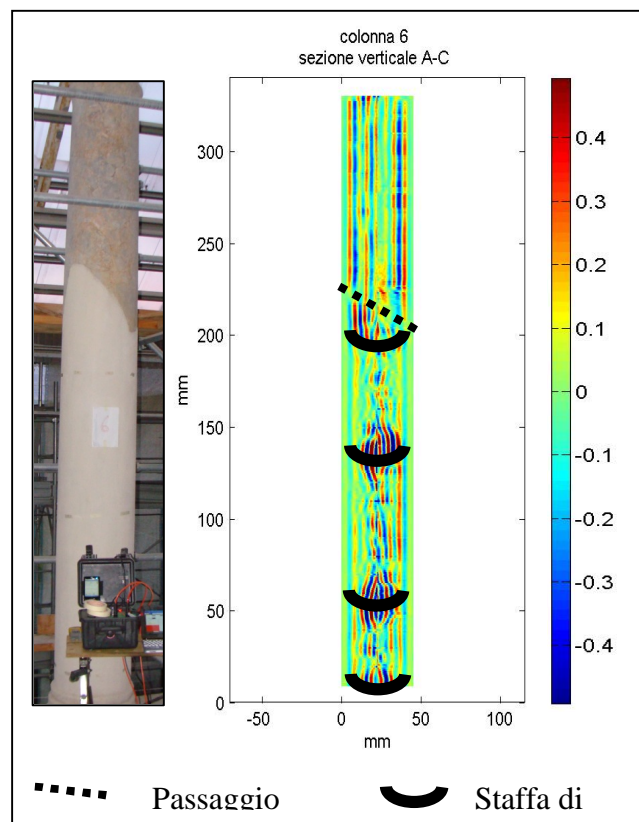
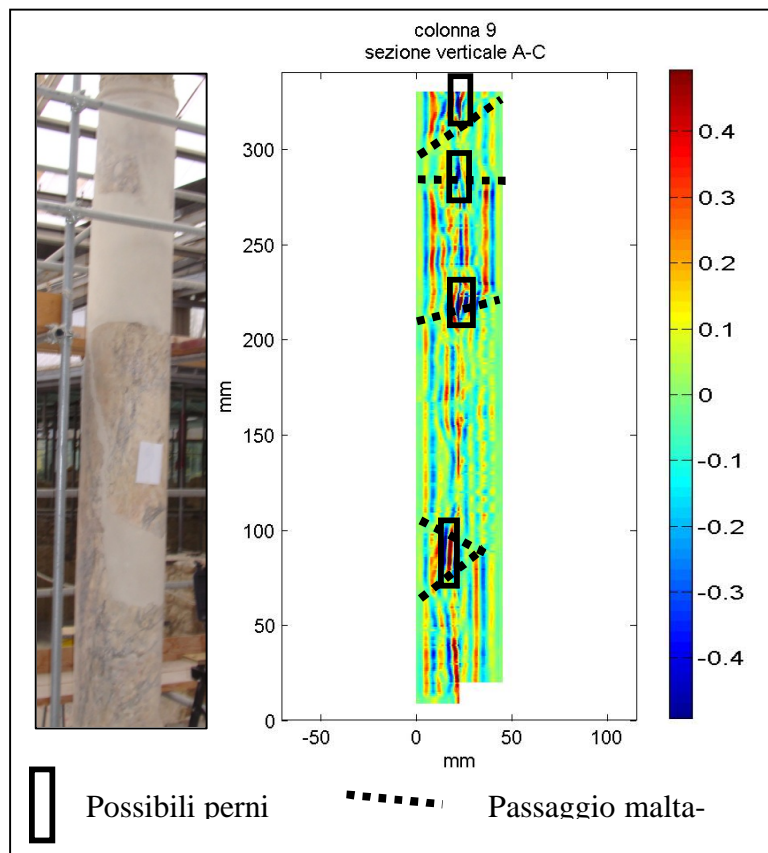
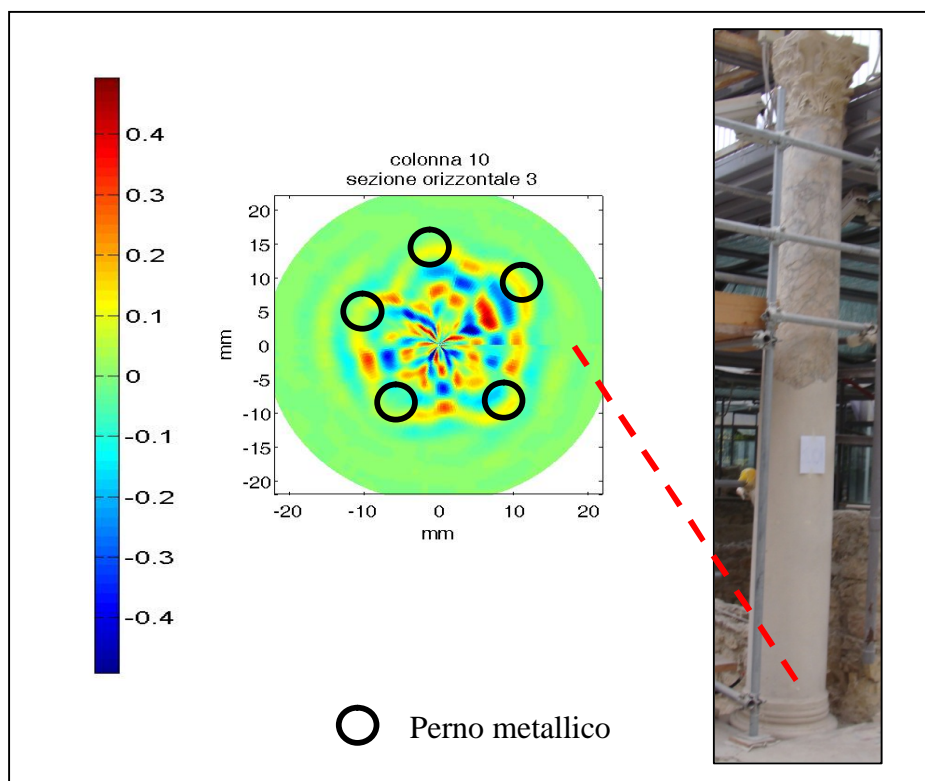


Fig. 4 – Sezione verticale A-C ottenuta per la colonna 6, che evidenzia la presenza di 4 staffe metalliche orizzontali ed il passaggio tra malta e roccia.

I profili orizzontali, acquisiti per mettere in evidenza eventuali perni metallici, sono stati posizionati alle due estremità del fusto e alla base del capitello delle colonne e sono stati convertiti prima in coordinate polari e poi rappresentati tramite sezioni circolari. Le sezioni circolari hanno permesso di evidenziare la presenza di alcuni perni metallici, che in alcuni casi (colonne 1, 5, 6 e 10) rappresentano delle vere e proprie armature (Fig. 6).



**Fig. 5** – Sezione verticale A-C ottenuta per la colonna 9, che evidenzia la presenza di perni metallici nel passaggio tra malta e roccia.



**Fig. 6** – Sezione circolare acquisita alla base del fusto della colonna 10, che evidenzia la presenza di 5 perni metallici.

## Tomografia sonica sulle colonne

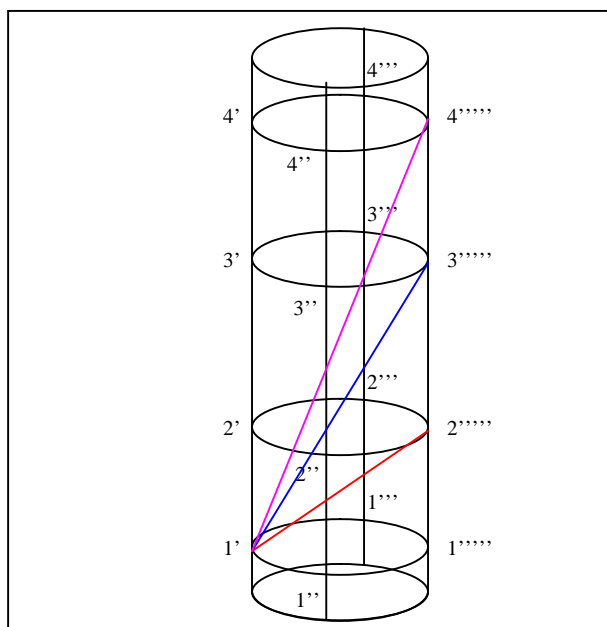
La tomografia sonica di velocità (travel time) consiste nell'esecuzione di un elevato numero di misure del tempo di propagazione delle onde soniche (fase P) lungo percorsi a diversa inclinazione che mutuamente si incrociano su sezioni piane della struttura. Scopo di questa fitta rete di misure è quello di ottenere la distribuzione della velocità sonica (campo di velocità) in tali sezioni.

Noti i tempi di percorso, per la determinazione del campo di velocità nelle sezioni indagate, viene utilizzato un programma di calcolo che, partendo da un modello di velocità sonica iniziale, ricostruisce iterativamente il campo di velocità con un procedimento numerico S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique), riducendo progressivamente lo scarto fra i tempi misurati lungo i diversi percorsi ed i tempi calcolati, questi ultimi ottenuti considerando il campo di velocità del modello determinato ad ogni iterazione.

Il programma considera, per il calcolo dei tempi di percorso fra trasmettitore e ricevitore, gli effetti della rifrazione sul percorso dei raggi sonici, utilizzando un procedimento di "ray-tracing" che ricostruisce l'andamento di tali raggi in funzione del campo di velocità.

Per le indagini è stato utilizzato un analizzatore microsismico a onde soniche con apparato elettronico munito di un pc palmare per la visualizzazione dei tempi di primo arrivo, ed il calcolo delle velocità di transito.

In considerazione delle proprietà del materiale e della lunghezza dei percorsi, sono stati impiegati trasduttori elettrodinamici con frequenza nominale di 22 kHz. Conservando la numerazione adottata per le misurazioni georadar, le rilevazioni su ogni colonna hanno fatto seguito all'individuazione di una serie percorsi i cui vertici (tra i quali sono stati posti i sensori) sono localizzati dall'intersezione di 4 sezioni orizzontali equidistanti, con due sezioni verticali diametrali tra loro ortogonali (fig.7) per un totale di 48 percorsi nei quali "viaggiavano" le onde sonore.

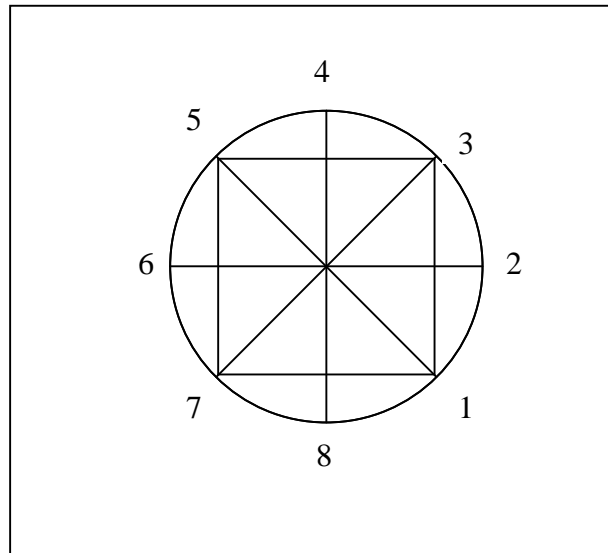


**Fig. 7** – individuazione dei percorsi per le prove soniche su piano verticale



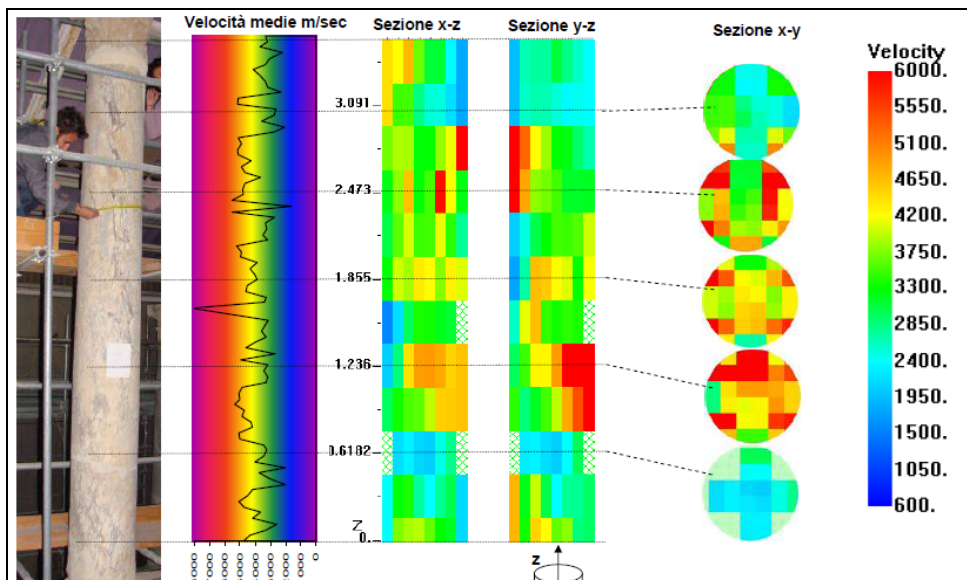
Nel piano orizzontale per ciascuna delle 4 sezioni sono stati individuati 9 percorsi come da fig. 8 seguente.

Complessivamente quindi per ciascuna colonna sono stati individuati 84 percorsi ed effettuate alterante misurazioni.



**Fig. 8** - Individuazione dei percorsi per le prove soniche su piano orizzontale

I dati acquisiti sono stati introdotti nel software il quale in output ha fornito, per le sezioni indicate, le distribuzioni delle velocità soniche. L'indagine si è conclusa con il calcolo della distribuzione della velocità media locale delle onde soniche in direzione "z"



**Fig. 9** – Colonna n° 7 interamente in pietra con valori di velocità media 4000 m/sec.

Quasi tutte le colonne come la 7 (Fig.9), costituite integralmente di pietra, l'indagine mostra una distribuzione pressoché uniforme (scarto quadratico medio di 1056 m/sec) delle velocità con media di 4000 m/sec picchi di 6000 m/sec.

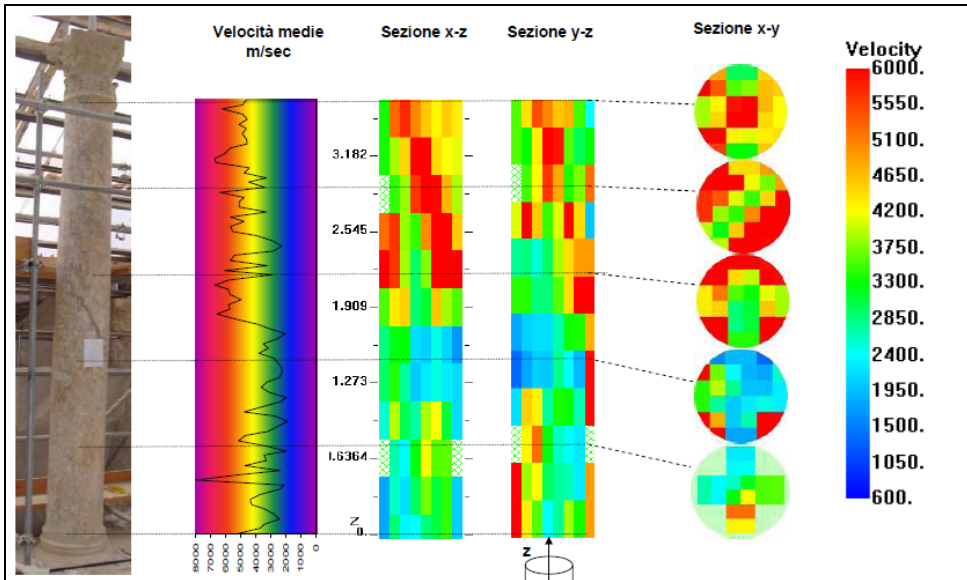


Fig. 10 – colonna 8 integralmente in pietra con distribuzione non uniforme di delle velocità

In taluni casi di colonne integralmente in pietra, come le colonna 4 e 8 le distribuzioni delle velocità si presentavano valori alternati con un valore di scarto quadratico medio superiore a di 1400 m/sec.

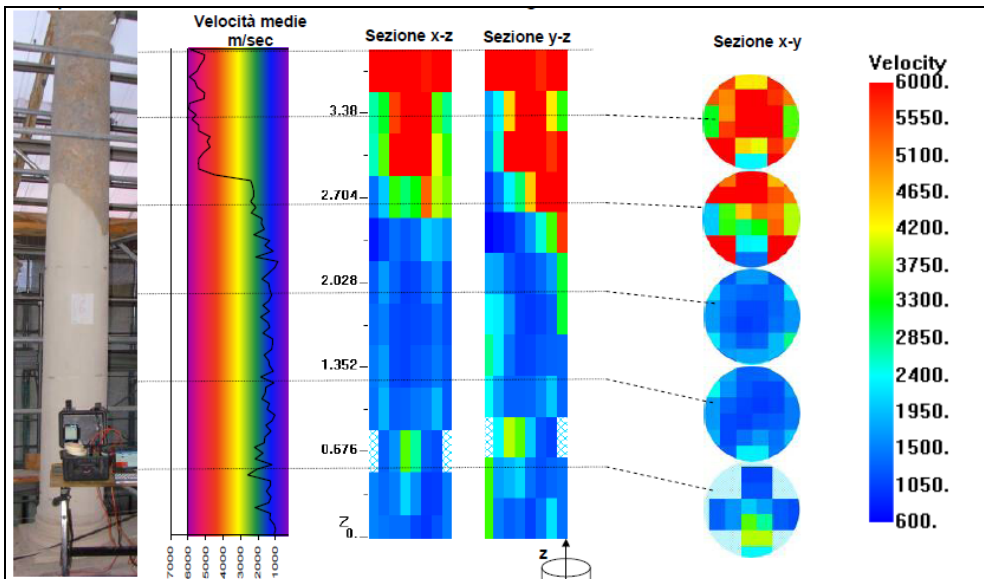


Fig. 11 – colonna 6 con evidenti variazioni di velocità tra la parte ricostruita e la parte in pietra

Tutte le colonne ricostruite o parzialmente ricostruite presentavano nelle zone di passaggio dalla malta alla roccia forti gradienti di velocità con passaggi da 1500 a 4000 m/sec. Nel caso della colonna 6 il valore dello scarto quadratico medico è di circa 1726 m/sec.

## Conclusioni

Lo studio condotto su 10 colonne del corridoio della grande caccia della Villa del Casale di Piazza Armerina (EN) effettuato con le metodologia georadar ha reso



possibile l'individuazione di inserti metallici nelle zone di passaggio tra parte in roccia della colonna e la parte in cls/malta, in quest'ultima si è reso evidente la presenza di barre filanti d'armatura (rilevate con scansioni orizzontali) e staffe in ferro intervallate ogni circa 1 m.(scansione orizzontale). Dall'analisi con metodo sonico è stato possibile ricostruire la tomografia delle colonne mettendo in evidenza la differente distribuzione delle velocità, e quindi di densità di materiale nell'ambito delle colonne ancora integre. Nelle colonne ricostruite è stata rilevata una notevole variazione di densità nel passaggio tra parte ricostruita e parte in pietra delle colonne.

### **Bibliografia**

Bavusi, M., Soldovieri, F., Piscitelli, S., Loperte, A., Vallianatos, F., Soupios, P., 2010, Ground-penetrating radar and microwave tomography to evaluate the crack and joint geometry in historical buildings: Some examples from Chania, Crete, Greece. *Near Surface Geophysics* 8 (5), pp. 377-387.

Capizzi, P., Cosentino, P.L., Martorana, R., Razo Amoroz, I., Riela, S., Rizzari, G. and Schiavone, S., 2009, Indagini geofisiche a supporto dell'intervento di restauro di Palazzo Branciforte (Palermo). *Lo Stato dell'Arte* 7 - IGIIC, Napoli, 7, 121-128.

Conyers, L.B., 2004, Ground-penetrating Radar for Archaeology. Alta Mira Press, Walnut Creek. 224 p.

Daniels, D.J., 2004, Ground Penetrating Radar. 2nd Ed. Institution of Electrical Engineers, London. 726 pp.

Grandjean, G. and Goury, J.C., 1996, GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thallos, Greece). *Journal of Applied Geophysics* 36, 19–30.

Pérez-Gracia V., Caselles O., Clapés J., Osorio R., Canas J.A., Pujades L.G., 2009, Radar exploration applied to historical buildings: a case study of the Marques de Llió Palace, in Barcelona (Spain). *Engineering Failure Analysis*. 16 (4), 1039–1050.

Radzevicius, S.J., Guy, D.E. and Daniels, a.J., 2000, Pitfalls in GPR data interpretation: differentiating stratigraphy and buried objects from periodic antennae and target effects. *Geophysics Research Letters* 27, 3393–3396.

Rashed M., Kawamura, D., Nemoto, H., Miyata, T. and Nakagawa, K., 2003, Ground penetrating radar investigations across the Uemachi fault, Japan. *Journal of Applied Geophysics* 53, 63–75.

Sambuelli L., Bohm G., Capizzi P., Cardarelli E., Cosentino P., 2011, Comparison among GPR measurements and ultrasonic tomographies with different inversion algorithms. An application to the basement of an ancient Egyptian sculpture. *Journal of Geophysics and Engineering*, in press.