

## STUDIO DELLO STATO FESSURATIVO DELLE COLONNE DEL CONVENTO DI SANTA MARIA DEL GESÙ (RAGUSA IBLA, SICILIA) MEDIANTE L'UTILIZZO DI TOMOGRAFIE SONICHE

S. Imposa<sup>1</sup>, M. Corrao<sup>2</sup>, G. Coco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania

<sup>2</sup> Geoscheck S.r.L., Gravina di Catania (CT)

Il convento e la chiesa annessa (Fig. 1), oggetto della presente ricerca, vennero edificati dai Frati Minori Riformati a partire dal 1636 e sono ubicati sul versante sud dell'abitato, nei pressi di una delle porte di accesso alla città. La dissimmetria, osservabile per un'altezza di 21 metri su quattro livelli, dimostrerebbe la realizzazione in più fasi adoperando i materiali di risulta dell'ormai abbandonato castello di Ragusa, utilizzando tecniche murarie diverse e invadendo una zona in cui le fondazioni poggiavano su roccia fratturata e detriti incoerenti, tali da essere la causa della sua rovina. Dal livello superiore del convento si accede al chiostro (Fig. 2), al cui centro, si erge un pozzo a base ottagonale e collo alto. Preliminarmente alla pianificazione dei lavori di recupero e conservazione, sono state eseguite delle indagini conoscitive non invasive, allo scopo di accertare le cause e la percentuale del degrado che interessano le colonne del chiostro. La tecnica di indagine utilizzata, si basa sulla generazione di onde elastiche, nell'ambito di frequenze soniche, in uno o più punti della struttura sottoposta ad analisi, attraverso sorgenti a percussione o con trasduttori elettrodinamici. Gli impulsi vengono registrati da una serie di sensori disposti secondo una configurazione geometrica prestabilita in funzione delle esigenze investigative (Fig. 3). L'elaborazione dei dati, invece consiste nel calcolo del tempo e della velocità di attraversamento dell'impulso dato nella muratura. Tali indagini, eseguite su muratura, mirano a quanto segue:

- qualificare la morfologia della sezione, individuando la presenza di vuoti, difetti o lesioni;
- controllare le caratteristiche della muratura dopo interventi di consolidamento (iniezioni di malte e resine), verificando i cambiamenti delle caratteristiche fisiche dei materiali.

I risultati di un'indagine sonica su muratura devono essere considerati esclusivamente come caratteristiche qualitative e non quantitative della muratura. Il principio generale dell'indagine sonica si basa su alcune relazioni che legano la velocità di propagazione delle onde elastiche, attraverso un mezzo materiale, alle proprietà elastiche del mezzo stesso. La velocità di propagazione delle onde elastiche in un mezzo è direttamente correlabile alla densità  $\rho$  ed al modulo elastico dinamico  $E$ . Questa relazione è valida solo per materiali elastici, omogenei ed isotropi. Le onde elastiche sonore per indagini non distruttive, sono caratterizzate da frequenze di 20 - 20.000 Hz, generate da appositi martelli strumentati che producono vibrazioni nell'impatto con la superficie del mate-



Fig. 1 - Veduta del convento e della chiesa.



Fig. 2 - Chiostro e colonne oggetto dell'indagine.

dove l'onda è più lenta, e producono rifrazioni multiple del segnale. Inoltre, i principi fondamentali della propagazione delle onde in un solido forniscono un ulteriore limite teorico alle possibilità della tecnica. La risoluzione della prova, in termini di dimensione minima del difetto riconoscibile, è legata alla lunghezza d'onda della frequenza dominante, e anche dalle dimensioni stesse dell'oggetto esaminato. La lunghezza d'onda  $\lambda$  è legata alla velocità di trasmissione  $v$  e alla frequenza  $f$ , attraverso la semplice relazione:  $\lambda = v/f$ . La strumentazione utilizzata consta di una catena di 12 trasduttori piezoelettrici (nel caso specifico distanziati di 10 centimetri), di un martello trigger, di un'unità di interfacciamento TOMBOX e di una centralina di acquisizione a memoria incrementale avente le seguenti caratteristiche:

- 1) capacità di campionamento fino a 30000 Hz su n° 24 canali;
- 2) sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- 3) filtri High Pass e Band Reject;
- 4) "Automatic Gain Control";
- 5) convertitore A/D a 24 bit.

I segnali registrati in formato digitale sono stati analizzati nel dominio del tempo con apposito software su piattaforma Linux (CWP/SU) per la stima del primo arrivo delle onde meccaniche generate (P). Successivamente è stata eseguita l'inversione tomografica dei dati per la restituzione delle immagini 2D tomografiche. La tomografia è una tecnica che consente la ricostruzione in immagini della struttura interna, nella fattispecie della colonna, mediante l'impiego dei travel-time delle onde meccaniche che si propagano all'interno del mezzo fisico investigato. Le tomografie soniche eseguite nelle colonne n° 2, 5 e 9 hanno ricoperto per ogni singola

riale in prova. La muratura presenta dei comportamenti caratteristici, rispetto alle indagini soniche, all'aumentare del livello di danneggiamento e quindi della presenza di fessure e vuoti. In particolare, in presenza di lesioni o fratture o altri tipi di discontinuità, la velocità sonica diminuisce. Le fratture, infatti, sotto caratterizzate da vuoti,

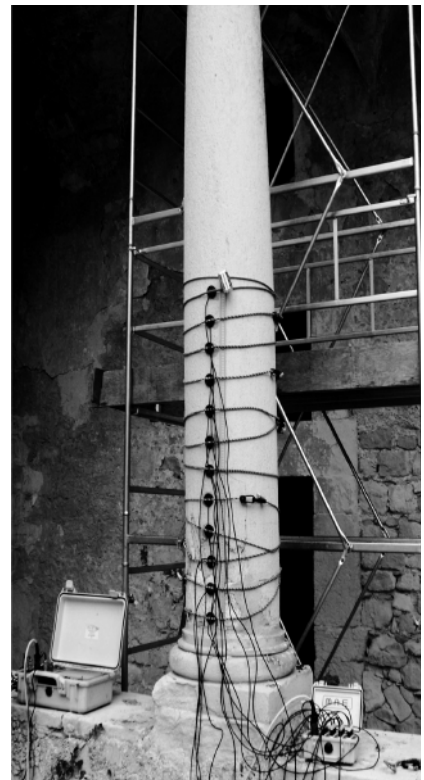


Fig. 3 - Configurazione geometrica utilizzata.

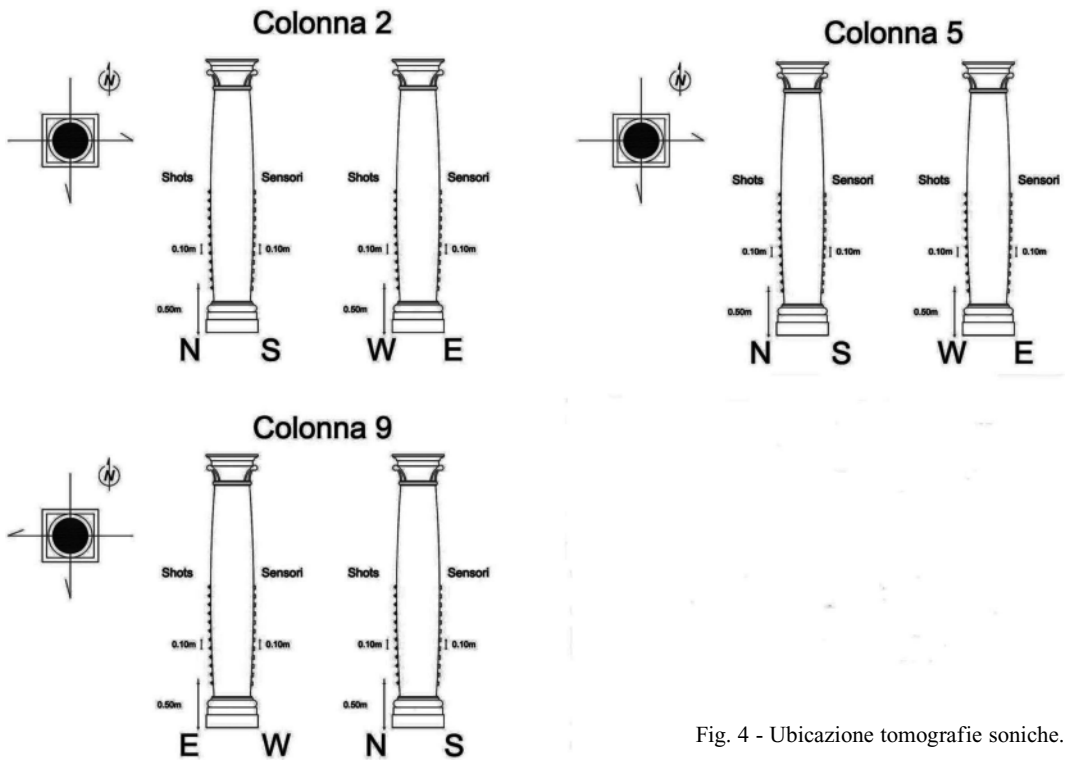


Fig. 4 - Ubicazione tomografie soniche.

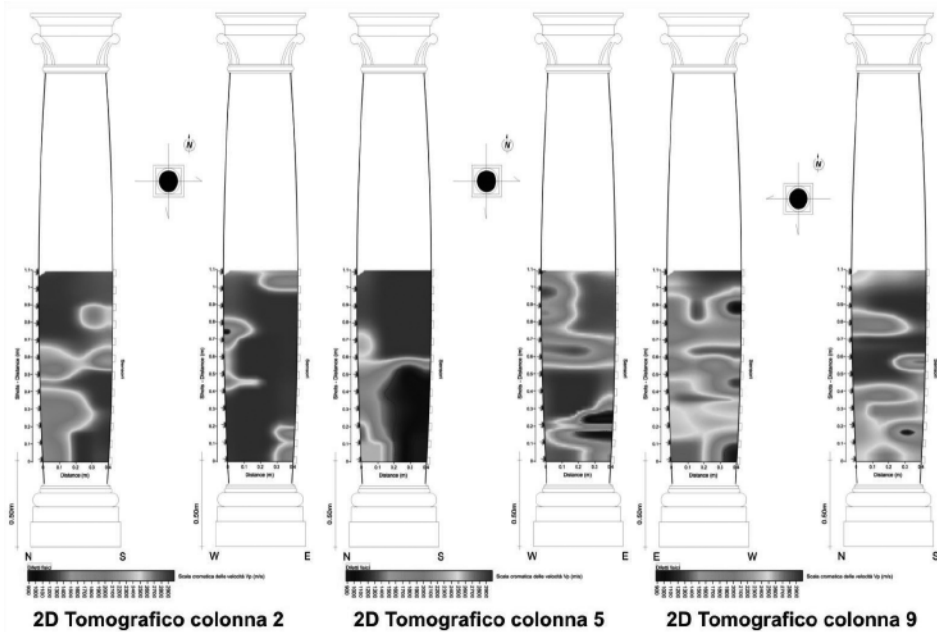


Fig. 5 - Immagini tomografiche delle colonne 2, 5 e 9.

colonna una superficie pari a circa 1 m<sup>2</sup>. In particolare sono state eseguite due sezioni 2D ortogonali per trasparenza secondo l'ubicazione di cui in Fig. 1. Il tratto di colonna investigato si riferisce alla porzione di base (da 10 a 110 cm dal toro - porzione compromessa dalla presenza di fratture e ammaloramento).

L'analisi delle velocità in immagine tomografica ha messo in evidenza i difetti fisici e le variazioni latero - verticali del lapideo costituente le colonne.

Sono evidenziate, nelle sezioni velocità tomografiche 2D, le porzioni lapidee difettose delle colonne rappresentanti delle porzioni fisicamente e meccanicamente scadenti rispetto al contesto materico (Bassa velocità - colore nero). Tale individuazione ha permesso di poter effettuare interventi di recupero mirati alle sole parti ammalorate, riducendo in modo sensibile i tempi programmati per la fase di restauro.

### **Bibliografia**

- Pullammanappallil S.K. and Louie J.N.; 1994: A Generalized Simulated-Annealing Optimization for Inversion of First-Arrival Times. Seismological Laboratory (174), Mackay School of Mines, University of Nevada, Reno. Published in Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 5, pp. 1397-1409.
- Riva G., Bettio C., Modena C.; 1997: "The use of sonic wave technique for estimating the efficiency of masonry consolidation by injection", Proc. 11th International Brick/Block Masonry Conference, Shanghai, China, October 1997, pp. 28-39.
- Valle S., Zanzi L., Binda L., Saisi A., Lenzi G.; 1998: "Tomography for NDT applied to masonry structures: Sonic and/or EM methods" In "Arch bridges", A. Sinopoli Editor, Balkema, Rotterdam, pp. 243-252
- Schuller M., Berra M., Faticcioni A., Atkinson R., Binda L.; 1994: "Use of tomography for diagnosis and control of masonry repairs" Proc. 10th International Brick/Block Masonry Conference, Calgary, Canada, July 1994, pp. 438-447.
- Monteforte N.; 1998: "Applicazione della tomografia sonica nei problemi di diagnosi strutturale". Graduation Thesis (in Italian), Tutor C. Modena. University of Padua, 1997- 1998.