

INDAGINI NON INVASIVE FINALIZZATE ALLA CARATTERIZZAZIONE DEL DEGRADO DEL CONVENTO DI SANTA MARIA DEL GESÙ (IBLA)

S. Imposa^(1,2), M. Corrao⁽³⁾, G. Coco⁽³⁾, M. Licitra⁽⁴⁾, G. Battaglia⁽⁵⁾, B. Cosentini⁽⁶⁾

- (1,2) Dipartimento di Scienze Geologiche - Università di Catania – C.so Italia 57, 95129 Catania;
C.R.I.Be.Cu.M. - Centro di Ricerche Interdisciplinari per i Beni Culturali e Monumentali; Università di Catania –
C.so Italia 57, 95129 Catania;
- (3) Geocheck S.r.L., Gravina di Catania (CT);
- (4) Ingegnere, Ragusa;
- (5) Soprintendenza ai BB.CC.AA., P.zza Libertà 2, Ragusa
- (6) Architetto, Ragusa.

Premessa

L'intervento di conservazione di un edificio storico, qualunque sia il suo valore architettonico e/o artistico, è, in generale, tanto più appropriato, quanto più profonda è la conoscenza della fabbrica, della sua evoluzione dall'origine allo stato odierno, dei materiali, delle tecniche costruttive e delle strutture portanti.

Le esperienze maturate negli ultimi decenni nel campo della conservazione e del recupero dell'edilizia storica mettono in evidenza la necessità di disporre, oltre che della conoscenza visiva, di adeguate tecniche di valutazione delle caratteristiche costruttive e dell'effettivo stato di deterioramento della struttura, prima di adottare qualsiasi tecnica di intervento.

Questa necessità vale anche nel caso di interventi preventivi contro eventi eccezionali (ad es. in zona sismica) ed anche quando si debbano predisporre progetti di intervento su interi centri storici o parte di essi. La fase diagnostica non è solo importante per la scelta di soluzioni appropriate, ma anche per la definizione di tempi e costi di intervento.

In molti casi gli interventi riguardano edifici lasciati per un lungo periodo in uno stato di abbandono o, comunque senza una effettiva manutenzione e le indagini devono essere innanzitutto in grado di: dare una risposta ad ipotesi già formulate dal progettista, fornire parametri fisici e meccanici da utilizzarsi nel calcolo strutturale e, se necessario, dati di controllo nella struttura nel tempo.

Data la scarsità di risorse finanziarie disponibili, che di solito caratterizza l'intervento su un patrimonio storico diffuso, il programma di indagine ha comportato una scelta oculata delle prove nell'ambito di quelle meno costose. Si tratta, quindi, di un programma di indagine "minimo", condiviso e sostenuto dal progettista, per indirizzare le scelte progettuali.

1. Introduzione

Nel presente caso di studio vengono sinteticamente descritti i risultati e le metodologie di una campagna di indagini strutturali volte alla conoscenza di alcuni aspetti che hanno prodotto lo stato di ammaloramento del Convento di Santa Maria del Gesù, finalizzati alla redazione di un progetto di recupero e conservazione.

Il Convento di Santa Maria del Gesù e la Chiesa annessa, a Ragusa Ibla, vennero edificati dai Frati minori riformati a partire dal 1636. In particolare ricadono entrambi sul versante sud dell'abitato nei pressi di una delle porte di accesso alla città. Il convento si sviluppa su quattro livelli e si eleva per un'altezza di 21 metri.



Figura 1 – Convento di Santa Maria del Gesù - Ragusa Ibla

Dal punto di vista geometrico si osserva una dissimmetria da imputare a più fasi di realizzazione 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. I materiali utilizzati per la costruzione della struttura si riferiscono a quelli di risulta dell'ormai abbandonato castello di Ragusa.

Dal livello superiore del Convento si accede al Chiostro, al cui centro, si erge un pozzo a base ottagonale e collo alto. Il pozzo, che si sviluppa in profondità con due livelli accessibili da finestre, è posto al centro di disegni geometrici di croci ottagonali. Proprio l'area comprendente il Chiostro è stata oggetto di uno studio diagnostico conoscitivo, indirizzato ad accertare le cause del degrado che interessano le sue colonne, lo stato di tensionamento delle catene, nonché lo "status" dinamico strutturale dello stesso.



Figura 2 – Vista del Chiostro con il pozzo centrale di forma ottagonale

Nella fattispecie è stata eseguita una serie di indagini che ha consentito di definire le condizioni fisico-meccaniche e le caratteristiche materiche delle colonne, lo stato delle sollecitazioni della muratura nonché lo stato tensionale delle catene esistenti.

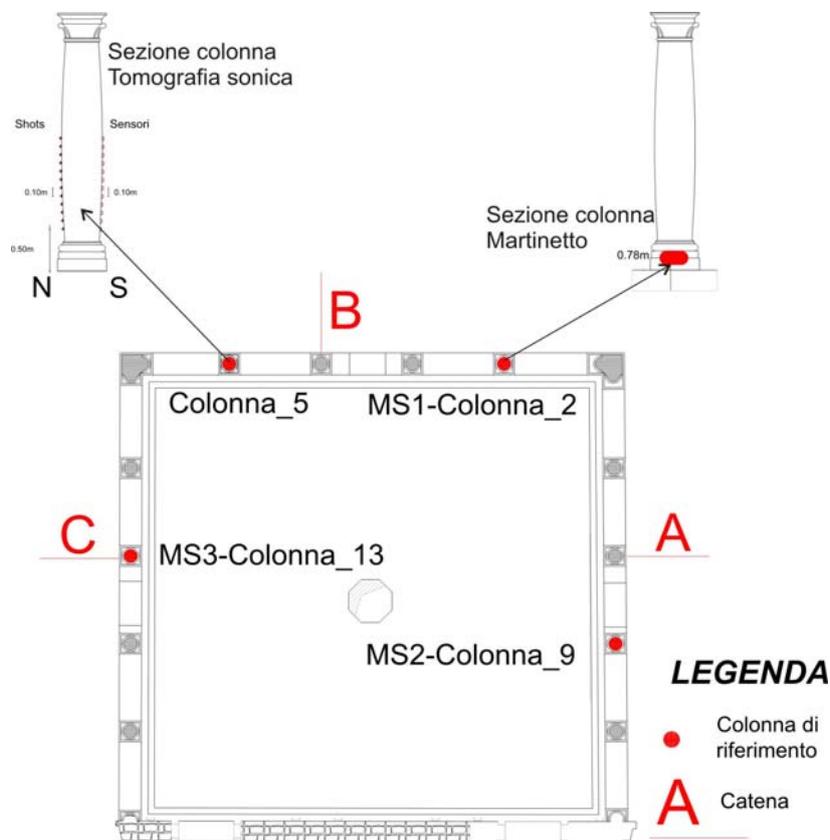


Figura 3 – Pianta del Chiostro con ubicazione schematica degli elementi strutturali investigati

2. Indagini diagnostiche conoscitive

Le indagini sottodescritte, hanno avuto lo scopo di accertare le cause del degrado che interessano le colonne del chiostro, lo stato di tensionamento delle catene, nonché lo “status” dinamico strutturale dello stesso:

- *Determinazione dello stato di sollecitazione della muratura con martinetti piatti;*
- *Determinazione dello stato tensionale delle catene esistenti;*
- *Prospezioni soniche per lo studio delle lesioni longitudinali nelle colonne e delle condizioni fisico – meccaniche delle stesse;*
- *Misure di sismica passiva per la valutazione sia della risposta sismica locale sia dello “status”, in termini di risposta dinamica, della struttura;*
- *Analisi di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione minero-petrografica, geochimica e petrofisica dei materiali prelevati in situ.*

Di seguito verranno analizzati sinteticamente i risultati di quanto eseguito con l’ausilio di alcune rappresentazioni grafiche e numeriche ritenute significative per i diversi elementi diagnosticati.

2.1 Martinetti piatti semplici

I martinetti piatti sono comunemente adoperati nella diagnostica su edifici e strutture murarie per stabilire sperimentalmente quali sono le reali condizioni statiche della struttura oggetto dell’indagine. Il principio della prova a singolo martinetto è basata sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura in esame, procurata da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie. Il rilascio delle tensioni provoca una chiusura del taglio la cui entità si rileva attraverso misure di convergenza fra tre coppie di punti di lettura situati in posizione simmetrica rispetto allo stesso taglio.

Uno speciale martinetto piatto viene poi inserito all’interno del taglio e portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni la pressione all’interno del martinetto sarà pari alla sollecitazione preesistente nella muratura.



Figura 4 – Sequenza fotografica esecuzioni di martinetti piatti

2.2 Misura dello stato tensionale delle catene mediante prove dinamiche

La valutazione del tiro delle catene può essere eseguita mediante un'indagine dinamica consistente nella determinazione sperimentale delle prime frequenze proprie di vibrazione delle catene stesse. Infatti, le frequenze proprie di vibrazione di un corpo prismatico sono funzione delle sue caratteristiche geometriche e fisico-meccaniche, delle caratteristiche dei suoi vincoli e dello stato di tensione in esso esistente. Il calcolo della forza di trazione è basato, pertanto, su una elaborazione delle frequenze e delle forme modali di vibrazione ottenute sperimentalmente inducendo nella catena vibrazioni libere per mezzo di impulsi e/o spostamenti imposti.

Nel caso in esame, si è iniziato dalla teoria della trave in vibrazioni libere in presenza di sforzo assiale [“Vibration Problems in Engineering”, W. Weaver, SP Timoshenko; “Dynamics of Structures” R. W. Clough, J. Penzien], imponendo come condizioni al contorno gli appoggi agli estremi. Successivamente si è determinato il tiro agente in una catena metallica, contemporaneamente al grado d'incastro presente alle sue estremità, attraverso una tecnica d'identificazione dinamica.

La strumentazione utilizzata per eseguire questa indagine è costituita da n° 3 accelerometri monoassiali, resi solidali alla catena mediante basette metalliche di supporto, posizionati in corrispondenza della sezione di mezzeria ed ai quarti di lunghezza degli elementi di prova.

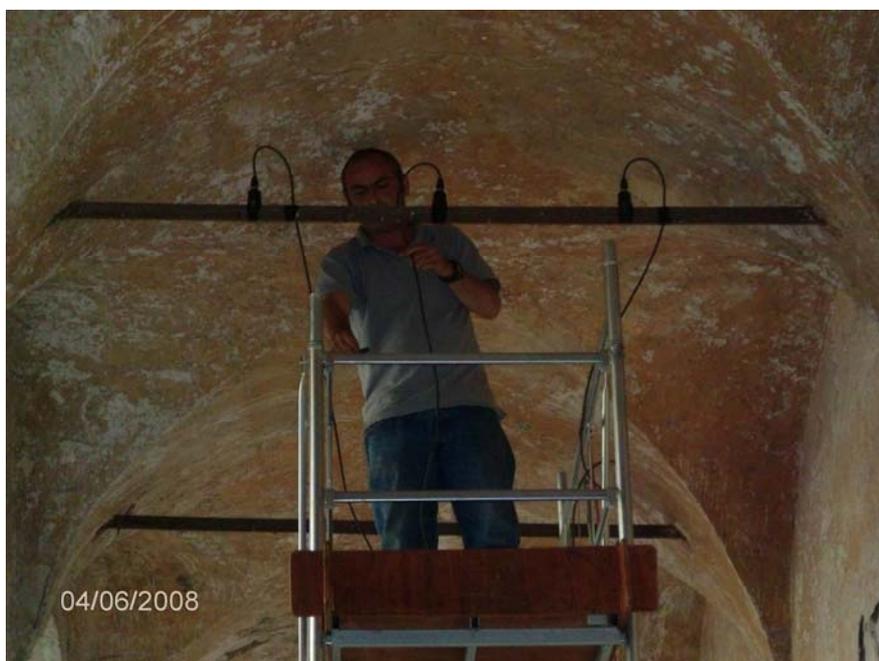


Figura 5 – Posizionamento accelerometri sulla catena A

Sono state misurate le due componenti y e z dell'accelerazione (la direzione x è parallela all'asse della catena, la direzione y è perpendicolare orizzontalmente e la direzione z è verticale).

Tale configurazione ha permesso di garantire un monitoraggio ottimale di tutti i modi di vibrazione della catena significativi, in entrambe le direzioni principali d'inerzia.



Figura 6 - Configurazione geometrica utilizzata per l'identificazione dinamica

Le catene sono state poste in vibrazioni libere impiegando una massa battente in grado di trasmettere una forza impulsiva all'elemento provato, e procedendo successivamente, alla registrazione delle accelerazione nella fase delle vibrazioni libere fino al loro completo smorzamento.

I segnali così acquisiti sono stati trattati con un software dedicato che permette il passaggio dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, attuando una Cross Spectrum Analysis, tramite la quale è stato possibile individuare le frequenze fondamentali del sistema, ed in particolare le prime due frequenze relative ai primi due modi flessionali, impiegate per la stima del tiro N.

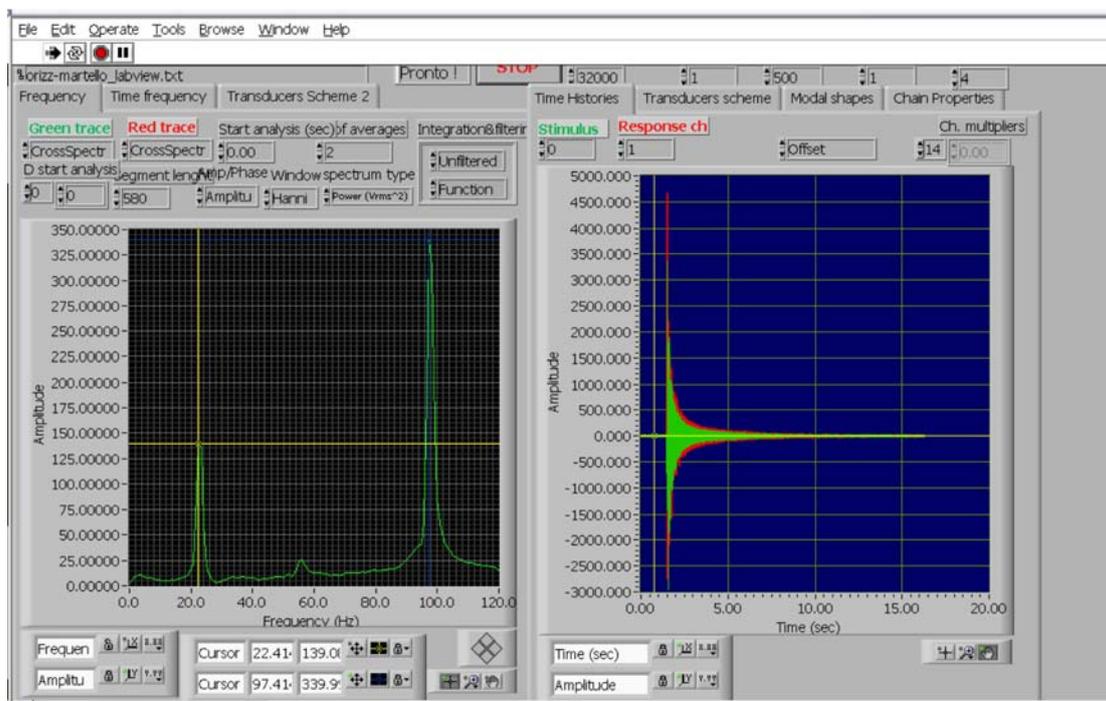


Figura 7 - Cross Spectrum Analysis sulle catene

2.3 Prosezioni soniche tomografiche sulle colonne

La tecnica di indagine sonica si basa sulla generazione di onde elastiche, nell'ambito di frequenze soniche (20-20.000 Hz), 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.



Figura 8 – Tomografia sonora sulla colonna n° 5

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), tramite la verifica dei cambiamenti delle caratteristiche fisiche del materiali.

I risultati di un'indagine sonora su muratura devono essere considerati esclusivamente come caratteristiche qualitative e non quantitative della muratura.

Il principio generale dell'indagine sonora 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 ρ 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 generatori (ad esempio martelli strumentati) che producono vibrazioni nell'impatto con la superficie del materiale in prova. La muratura presenta dei comportamenti caratteristici rispetto alle indagini sonore, 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 sonora diminuisce poiché le fratture, essendo caratterizzate da vuoti, rallentano la velocità di propagazione dell'onda producendo rifrazioni multiple del segnale.

I segnali registrati in formato digitale sono stati analizzati nel dominio del tempo con apposito software 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.

Nella figura 9 vengono mostrate due sezioni sonore tomografiche relative alla colonna n° 5; si evince chiaramente che l'area ammalo rata è contraddistinta da un colorazione che va dal blu fino al nero.

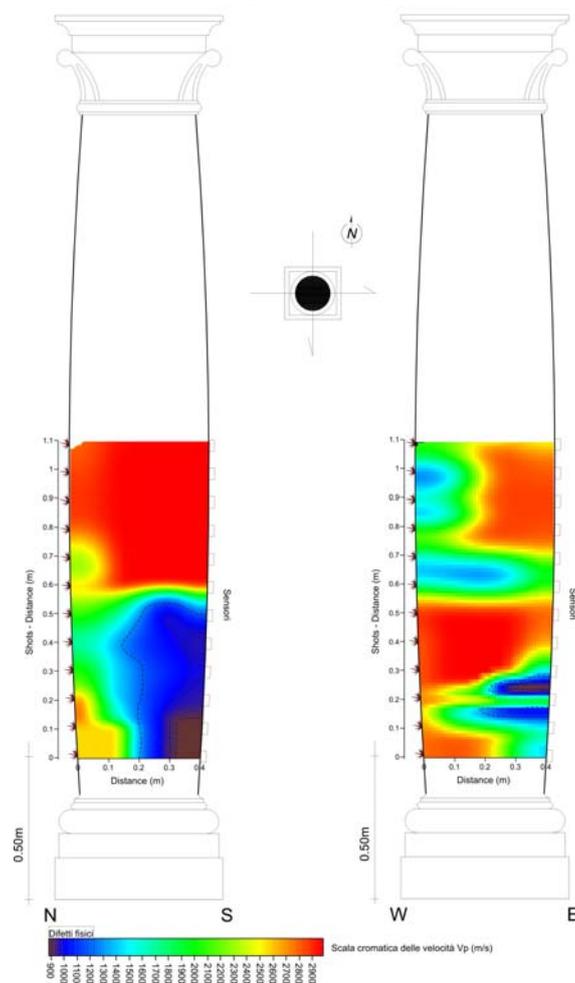


Figura 9 – Sezioni 2D tomografiche soniche _ colonna 5

2.4 Misure di sismica passiva

Al fine di caratterizzare sia la risposta sismica locale (RSL) sia lo “status”, in termini di risposta dinamica, della struttura, nonché identificare i periodi propri di oscillazione dei diversi elementi geometrici della stessa è stata eseguita una serie di acquisizioni di sismica passiva (*ambient noise*).

Lo status vibrazionale è stato misurato utilizzando 5 geofoni 3D con risposta pari a 0.22 secondi (4.5 Hz) e 1 geofono 3D con periodo pari a 1.0 secondo (1 Hz), sincronizzati elettronicamente e posti, per tutte le misure eseguite, in ogni livello della struttura.



Figura 10 – Posizionamento geofoni per misure passive

L'ipotesi di partenza di questa tecnica, si basa sul fatto che l'energia dei microtremiti (rumore ambientale) è costituita principalmente da onde di Rayleigh, e che l'effetto di amplificazione del sito è legato al contrasto di rigidità tra due mezzi attraversati dall'onda sismica. Recentemente è stato dimostrato che i rapporti spettrali H/V utilizzati con misure di microtremore, mostrano una significativa coerenza con le forme di spettri H/V, calcolati mediante registrazioni di terremoti. Ciò detto riguarda l'aspetto prettamente geolitologico.

Le misure sono state estese a tutta la struttura per i diversi livelli in elevazione e quindi sono state calcolate le funzioni di trasferimento (transfer function), al fine di identificare il/i periodo/i proprio/i della struttura oggetto di analisi dinamica.

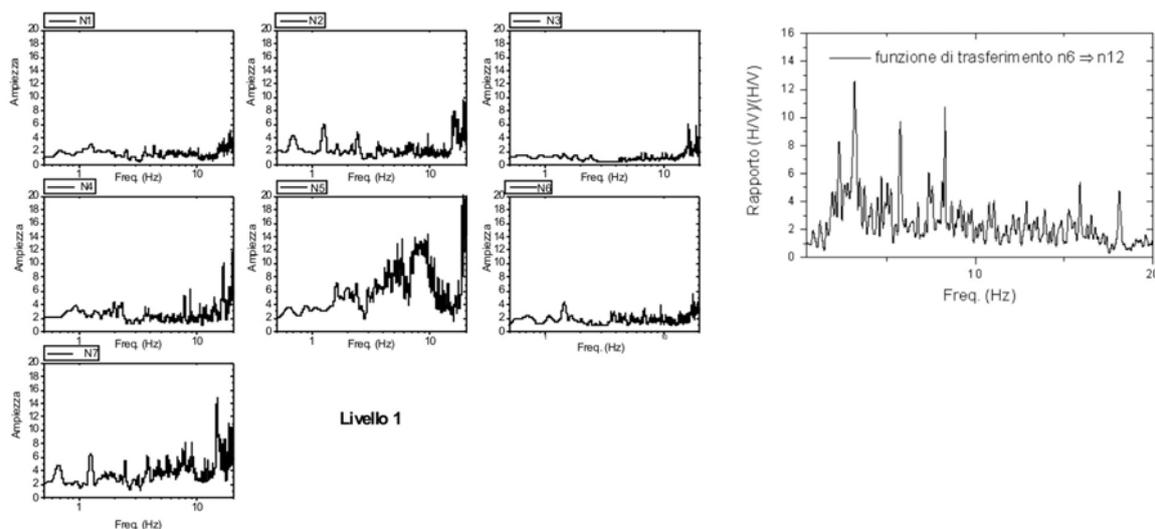


Figura 11 – Esempio di analisi spettrali H/V e Funzione di trasferimento (Livello I)

2.5 Analisi di laboratorio materiche

E' stata condotta una serie di analisi di laboratorio al fine di una caratterizzazione fisico – chimica e mineralogico – petrografica dei lapidei naturali costituenti le colonne del Chiostro.

La scelta della localizzazione dei prelievi e delle modalità di campionamento è stata effettuata sulla base di considerazioni di tipo analitico (tipo e quantità di analisi da effettuare) e strutturale (dati raccolti a supporto delle verifiche fisico – meccaniche).

Sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti analisi:

- Studio petrografico al microscopio a luce polarizzata
- Analisi calcimetrica ed analisi del residuo insolubile
- Analisi mineralogica mediante diffrazione ai Raggi X
- Analisi porosimetrica
- Analisi ponderale del contenuto in acqua
- Dosaggio dei sali solubili e delle specie anioniche in soluzione
- Analisi al microscopio elettronico (SEM) e microanalisi (EDS).



Figura 12 – Prelievo su colonna per analisi di laboratorio

3. Conclusioni e sintesi dei risultati ottenuti

Lo studio diagnostico, nonostante la limitatezza delle risorse finanziarie disponibili che hanno fortemente condizionato il numero delle indagini effettuate, ha permesso di ampliare le conoscenze della struttura del Chiostro del Convento di S. Maria del Gesù.

Le varie tipologie di indagini eseguite hanno permesso di definire quanto segue:

1. La tensione in “situ” delle colonne, misurata con la tecnica dei martinetti piatti, ha riportato valori compresi tra 8.6 e 14.4 Kg/cm².
2. Il calcolo della forza di trazione delle catene ha prodotto valori per le due componenti rispettivamente pari a circa 6.74 e 70.90 kN. Inoltre, diagrammando i risultati ottenuti per i valori di tiro Euleriani e ad incastro agli estremi, sia sotto sforzo verticale sia orizzontale, si osserva come per le direzioni verticali (bxh = 1.5x5 cm) i valori assumono uno scarto fino al 15.75% circa; le direzioni orizzontali (bxh = 5x1.5 cm) raggiungono uno scarto fino al 25.2%. Lungo la direzione verticale le catene A, B e C mostrano una perdita di tensionamento pari a circa il 16%; Lungo la direzione orizzontale si osservano valori più alti e corrispondenti all'ipotesi di incastro.
3. Nelle colonne si osservano delle porzioni lapidee difettose e cioè fisicamente e meccanicamente scadenti rispetto al contesto materico (Bassa velocità – colore blu).
4. Dal punto di vista dinamico, sulla base dei risultati ottenuti per le misure di sismica passiva, l'osservazione che può essere fatta, prescindendo da una modellazione numerica che peraltro è da scartare per una struttura così complessa, è che per il livelli misurati solo il livello IV e cioè laddove sono stati eseguiti interventi strutturali, risulta avere un comportamento dinamico omogeneo in termini di frequenza (f_0 nell'intorno dei 6.5 Hz). Il livello III (chiostro) mostra delle porzioni più rigide (spettri piatti) all'interno di un sistema relativamente omogeneo (f_0 variabile da 6.0 a 8.0 Hz). Il livello II mostra un comportamento dinamico estremamente disomogeneo con frequenze f_0 variabili da 6.0 a 13.0 Hz. Il livello I, rappresentante il basamento, è assolutamente coerente con la litologia costituita da suoli rigidi (spettri piatti o poco amplificati). Le funzioni di trasferimento confermano la disomogeneità strutturale in termini di risposta dinamica (variabilità nella risposta dinamica).
5. Le analisi di laboratorio hanno consentito di sostenere che le colonne del Chiostro sono costituite da calcare bituminoso ascrivibile alla cosiddetta “Pietra Pece”. Dalle osservazioni mineralogiche si è evidenziata la presenza di minerali argillosi che probabilmente possono avere contribuito al fenomeno di degrado in atto a carico dei litotipi carbonatici analizzati. Dall'esame SEM-EDS si è evidenziato che la specie solubile maggiormente presente è costituita da Solfati. La presenza di Halite (Gesso) è confermata dai tenori apprezzabili in cloruri. Le determinazioni porosimetriche mostrano, per alcune colonne, una significativa componente di macro pori ($d > 15 \mu$). Infine, i materiali ad oggi non sembrano ad oggi essere sede di significativi fenomeni di ritenzione idrica per assorbimento capillare o infiltrazione.