

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

LE NECESSITA' DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE DELLA "CIRIBICIACCOLA", LA TORRE NOLARE DELL'ABBAZIA DI CHIARAVALLE

Lorenzo Jurina
Politecnico di Milano
lorenzo.jurina@polimi.it
www.jurina.it

Premessa

*"Sul pont de Ciaravall
gh'è ona ciribiciaccola
con cinqcentciribiciacolitt
Val pusè ona ciribiciaccola
o cinqcentciribiciacolit?"*

La si vede da lontano svettare sul tessuto verde del parco agricolo sud Milano, avvicinandosi al borgo di Chiaravalle. Si avvista il rosso scuro dei suoi mattoni e la sua complicata combinazione di piani e decorazioni, tipica del tardogotico lombardo.

È la *Ciribiciaccola*, la "torre nolare" dell'abbazia cistercense di Chiaravalle Milanese. Il soprannome con cui è conosciuta, *Ciribiciaccola* appunto, assomiglia ad uno scioglilingua e aumenta la simpatia dei cittadini verso questo monumento.

La torre nolare, costruita attorno al 1329, è attribuita a Francesco Pecorari di Cremona.

È stata edificata due secoli dopo la costruzione del monastero, uscendo dai canoni dell'austera architettura voluta da San Bernardo.

La torre, realizzata in muratura piena con spessore di 50 centimetri, sale dal tiburio con due sezioni di forma ottagonale da cui infine parte la sezione conica terminale, sovrastata dalla croce superiore, per un totale di 56,2 metri. Oltre al tiburio, che presenta un primo ordine di archetti pensili perimetrali, ogni zona ottagonale è divisa in due parti orizzontali caratterizzate anch'esse da archetti pensili, con cornici lavorate.

Le numerose bifore, le trifore e le quadrifore sono formate da marmo di Candoglia, e le monofore sono in cotto.

La cella campanaria contiene la campana più antica del sistema ambrosiano, soprannominata Bernarda, azionata ancora oggi dai monaci tramite una corda che giunge fino al livello terreno.

L'accessibilità alla torre è abbastanza ardua: dopo essere usciti con una botola sulla falda del tetto, si sale su una scala a pioli, a quota 22,67 metri da terra, e poi con una scala precaria si accede all'estradosso della cupola del tiburio, sul quale si cammina, da cui si può imboccare la scaletta del corpo in muratura vero e proprio della torre.

Molto modificata nel corso del XVIII secolo, la torre nolare è stata consolidata e "riportata" alle forme trecentesche nei primi decenni del Novecento, all'interno di una ampia opera di restauro intrapresa da Luca Beltrami nel 1894 e proseguita nel 1914 da Gaetano Moretti.

La torre, di epoca successiva alla edificazione originale, al momento della sua costruzione ha necessitato di una riorganizzazione strutturale del tiburio al fine di un migliore trasferimento dei carichi.

Gli archi a tutto sesto che sostenevano la precedente copertura della crociera sono stati affiancati da tre nuovi archi a sesto acuto, in grado di ricevere il peso della possente Torre nolare e condurlo a terra.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

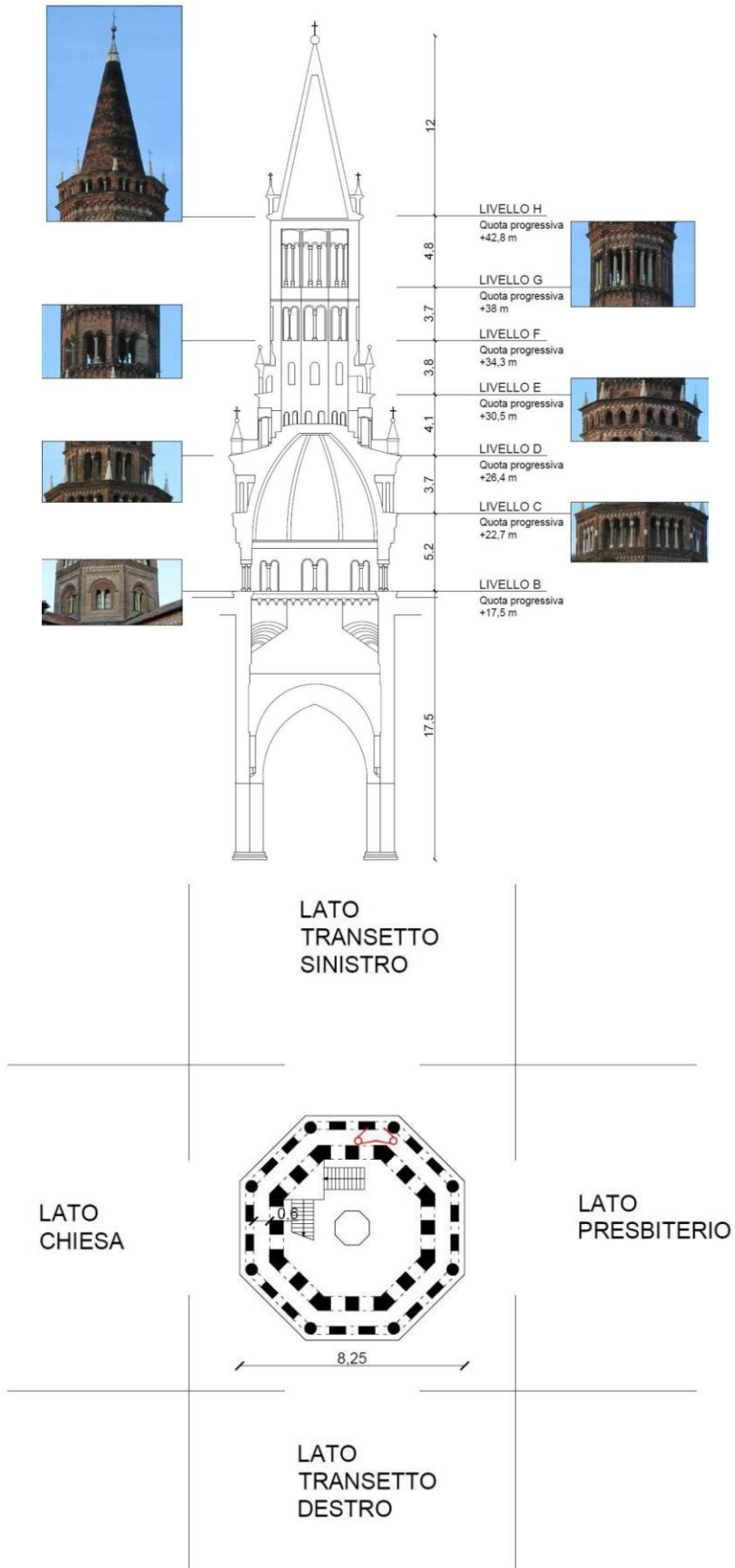


La Ciribiciaccola vista dal chiostro dell'Abbazia



Il doppio sistema di archi di scarico con l'arco a sesto acuto e quello a tutto sesto.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede



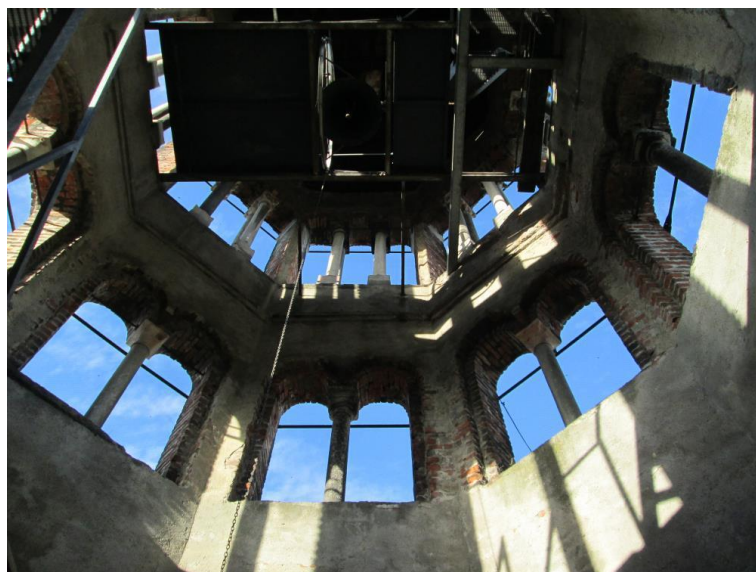
Sezione verticale ed orizzontale in corrispondenza del livello E

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Il rilievo del degrado

L'accurato rilievo materico, del quadro fessurativo e del degrado recentemente eseguito ha messo in luce patologie e dissesti strutturali, che confermano le preoccupante situazione statica in cui versa la torre nolare.

Oltre ai degradi superficiali che interessano intonaci e malte, alla presenza di vegetazione e di patine biologiche, particolare attenzione meritano le esili colonnine in pietra della parte alta della torre. Un avanzato stato di erosione ha notevolmente ridotto la sezione di alcune colonnine, abbattendo drasticamente la loro capacità portante.



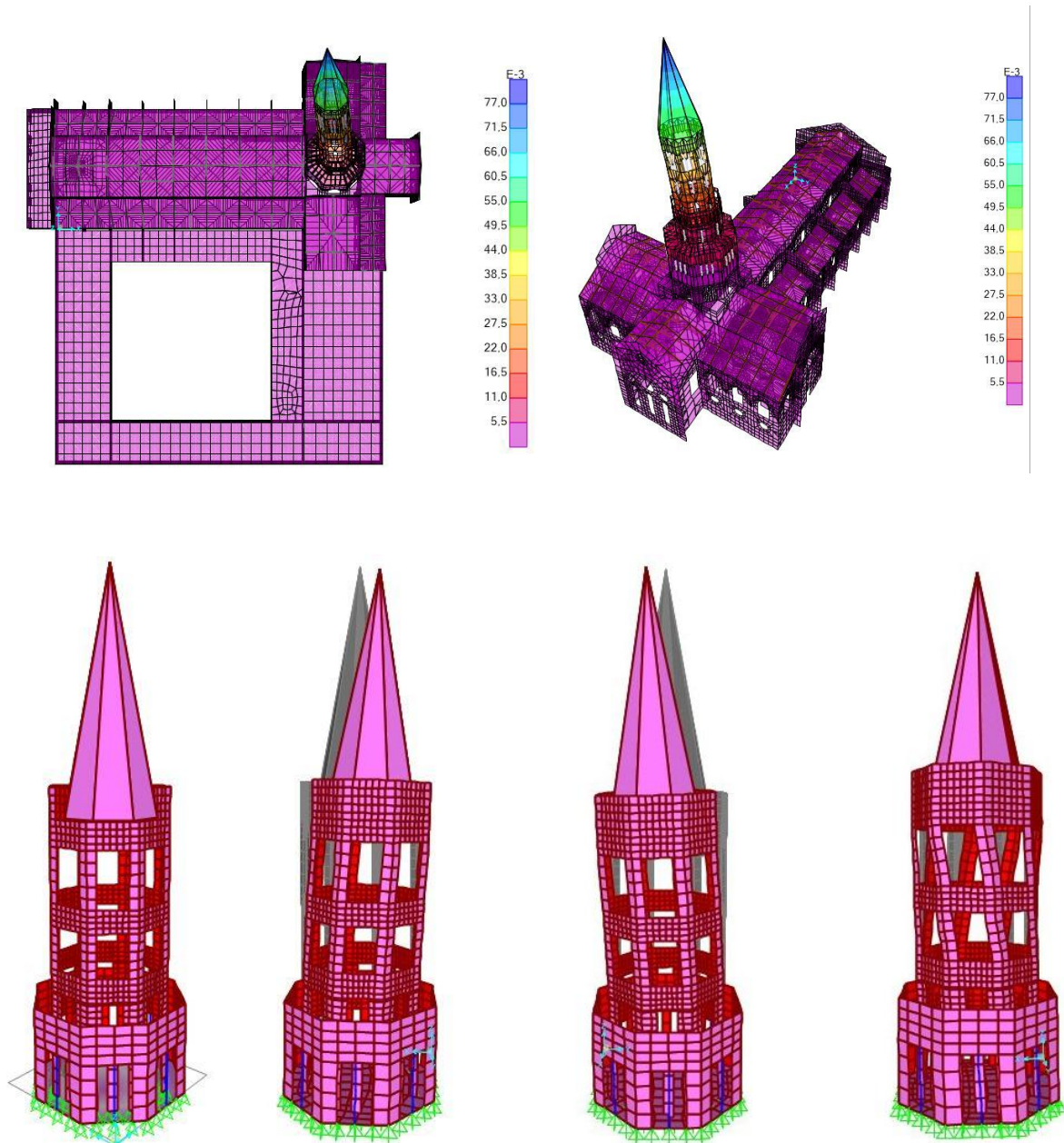
Il degrado delle colonnine e la snellezza della cella campanaria

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Le analisi e la vulnerabilità della "torre nolare"

All'interno di un'attività di ricerca condotta dallo scrivente, accompagnato dall'entusiasmo e dalla competenza dell'arch. Silvio Fiorillo e dall'approfondimento didattico di due tesisti del Politecnico di Milano (Alessio Battiston e Enrico Buizza), la Ciribiciaccola è stata indagata in ogni suo livello attraverso una analisi completa del degrado materico e dello stato fessurativo presente sulle murature e sugli archi.

Con le informazioni ricavate si è potuto procedere ad una modellazione numerica strutturale che ha permesso di riconoscere le debolezze e le principali fragilità del monumento, in condizioni normali e nei riguardi di azioni sismiche.



Modellazione strutturale e deformazioni flessionali e torsionali causate da azioni sismiche

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Dall'analisi è emersa una situazione preoccupante.

La porzione strutturalmente più debole è costituita dalla torre ottagonale emergente in muratura, fragile e poco rigida soprattutto nei riguardi delle azioni orizzontali.

Le murature infatti sono snelle, caratterizzate da uno scarso ammassamento reciproco, isolate e interrotte da molteplici aperture di grande dimensione.

Ne consegue che la rigidezza d'insieme e la resistenza della torre sono inadeguate rispetto ai correnti criteri di sicurezza.

La torre si configura sostanzialmente come una struttura a mensola, per la quale le richieste di resistenza si concentrano in larga parte in corrispondenza dell'incastro di base.

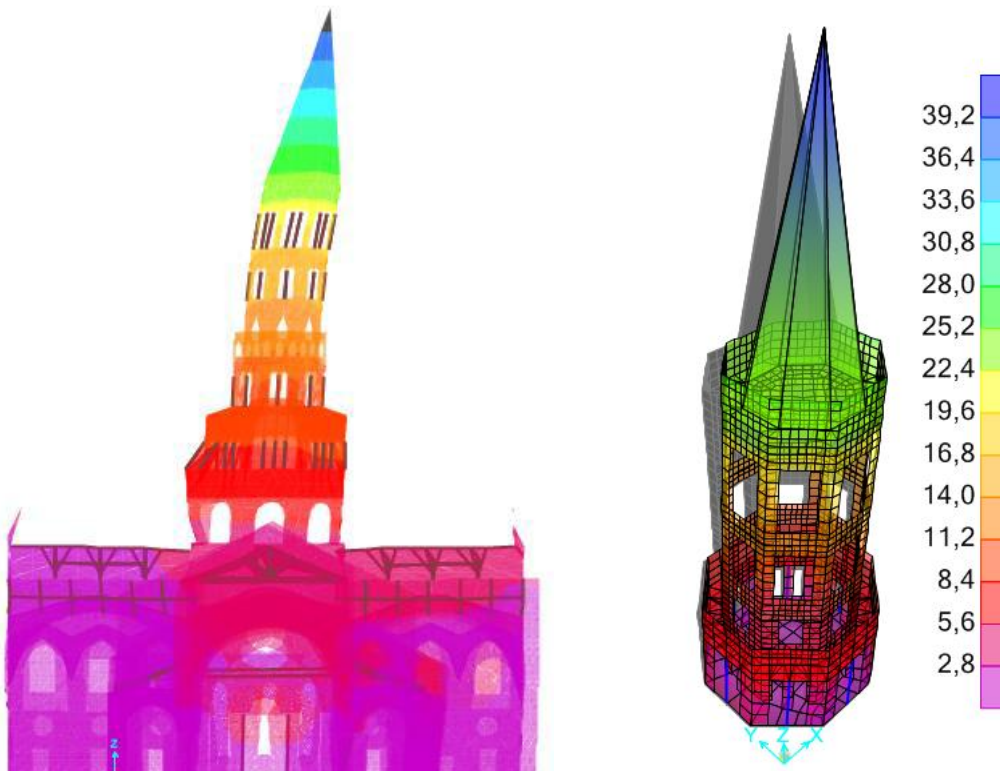
L'analisi del modello evidenzia le criticità maggiori e rende esplicito il comportamento della torre sotto azioni orizzontali. Si nota subito che il fusto rappresenta la zona più critica in quanto è un "cilindro" vuoto composto da elementi snelli, poco ammassati ed interrotti strutturalmente ad ogni piano a causa della presenza delle decorazioni e delle aperture (bifore, trifore e quadrifore).

Si deve tenere in considerazione anche la presenza della pesante cuspide terminale della torre e di tutte le decorazioni che la compongono, che, come riportano anche le linee guida ministeriali, a causa della loro massa elevata, posizionata ad alta quota, costituiscono elementi di amplificazione del moto sismico e di indebolimento globale della struttura.

Dall'analisi sismica emerge che le sezioni murarie sono molto sollecitate, e addirittura in alcune porzioni soggette a trazione (come è noto la muratura non ha buona resistenza a trazione).

Il massimo spostamento previsto si raggiunge in sommità della cuspide.

In caso di forte sisma, si può verificare la formazione di ampie lesioni verticali che interessano le quote superiori, dove gli spostamenti sono massimi, e proseguono verso il basso, dividendo la struttura in parti.



Deformata sismica dell'intera struttura e spostamenti massimi ottenuti allo stato di fatto[mm]

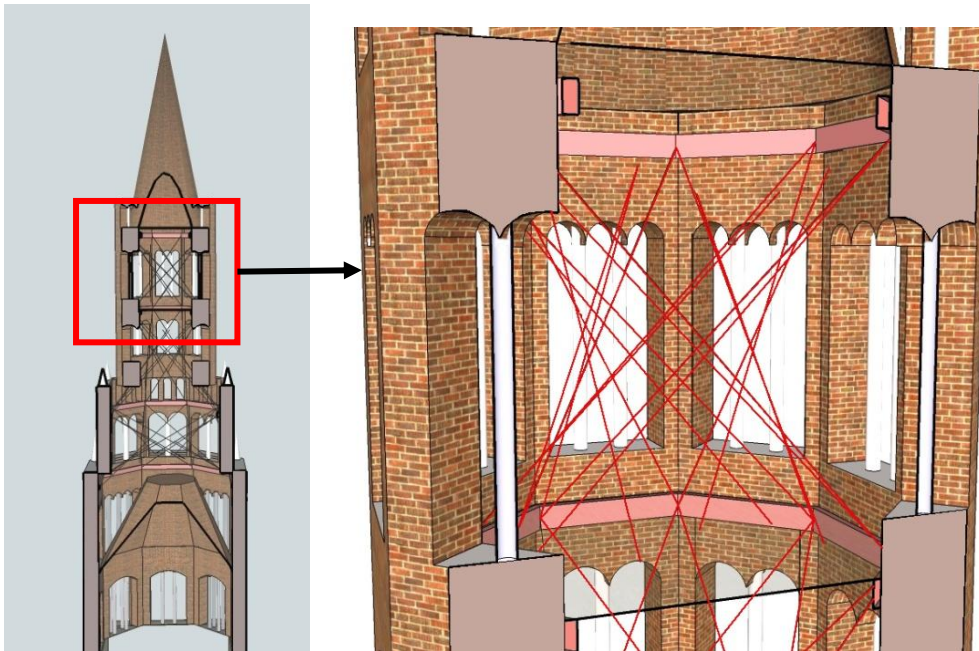
Una proposta di intervento

Si rende indispensabile un intervento di consolidamento per migliorare il comportamento strutturale globale del fusto in muratura, agendo su quelle che sono le maggiori criticità evidenziate in fase di analisi. Si vogliono conciliare le esigenze strutturali con i criteri di non invasività, leggerezza e reversibilità dell'intervento, essenziali per conservare l'autenticità storico-architettonica di un monumento così importante.

E' stata pertanto analizzata la possibilità di inserire all'interno della torre una leggera struttura in cavi d'acciaio, solidale alla muratura, che offra un'azione di confinamento e che lavori come se fosse una trave reticolare tridimensionale, collaborante con la muratura della torre.

Si prevede di inserire nello spazio interno della torre 4 cerchiature metalliche orizzontali, a forma di anello ottagonale, costituite da piatti in acciaio inox. Le cerchiature verranno collegate tra loro da cavi in acciaio inox diagonali del diametro di 20mm; da ogni spigolo partiranno cavi inclinati fino a raggiungere gli spigoli opposti del livello superiore e inferiore.

Si creerà così un *iperboloide parabolico*, ossia una sorta di "clessidra" composta da cavi inclinati, post tesati.

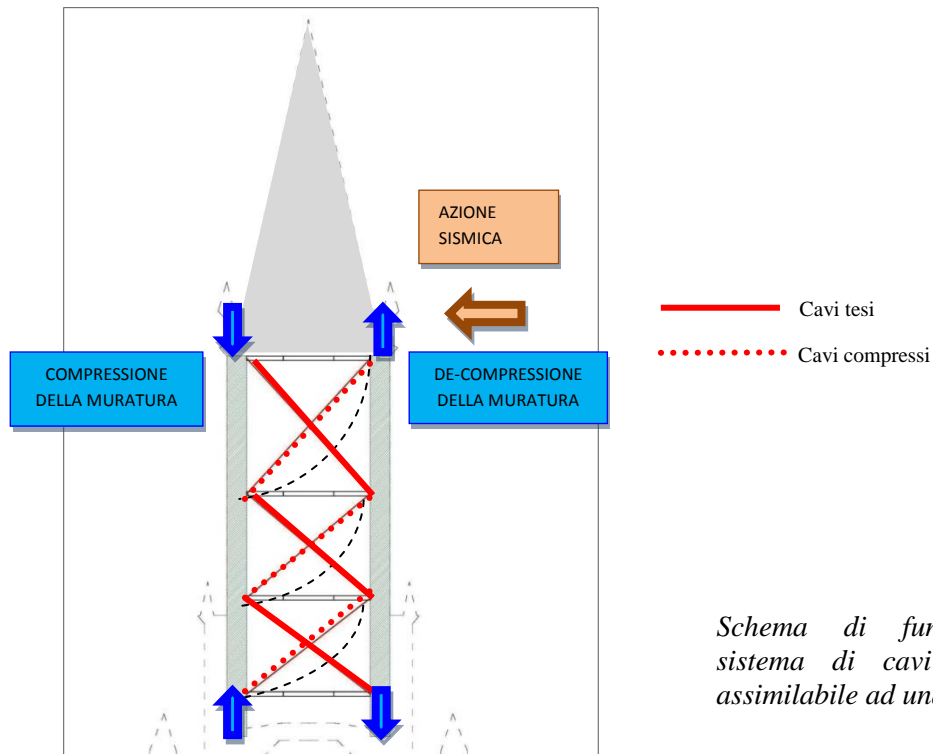


Intervento di consolidamento con cerchiatura e cavi diagonali post tesati.

In questo modo il sistema "muratura+cavi", in caso di sisma, funzionerà come una trave reticolare. Si otterrà una compressione della muratura da un lato ed una de-compressione dal lato opposto.

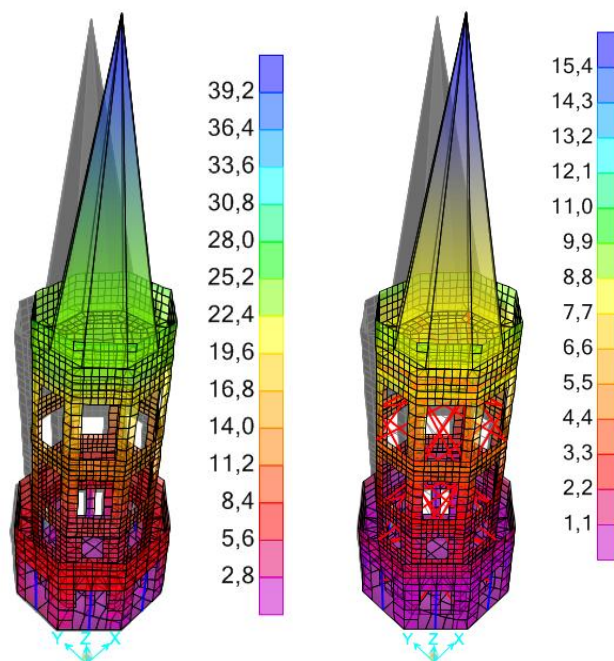
I cavi risulteranno in parte tesi e in parte laschi (anche se questo effetto verrà mitigato o addirittura eliminato dalla pre-tesatura), mentre le cerchiature ottagonali avranno il compito di consentire l'ancoraggio dei cavi stessi alla muratura perimetrale.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede



La proposta progettuale appena illustrata è stata verificata mediante un'accurata modellazione ad elementi finiti. I calcoli hanno confermato un incremento della rigidezza della torre nolare e una considerevole riduzione degli sforzi e degli spostamenti in sommità, confermando la bontà della scelta progettuale. La riduzione degli spostamenti orizzontali delle estremità superiori si attesta attorno ad un valore del 60%, adeguato ad un intervento di "miglioramento strutturale, come richiesto dalla normativa vigente.

Quota TORRE (m)	Spostamenti pre consolidamento (mm)	Spostamenti post consolidamento (mm)	Riduzione (%)
+27,50	40,90	16,12	-61%
+16,00	24,80	9,90	-60%



Confronto degli spostamenti pre e post-consolidamento [mm]

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Oltre la torre nolare: diagnostica, criticità e proposte di intervento per la chiesa abbaziale

Il presente paragrafo si propone di descrivere la situazione dei dissesti all'interno della chiesa abbaziale.

Lo studio della documentazione tecnica disponibile, che raccoglie i dati del rilievo effettuato dalla società Solvo nel 1993 (Si veda Solvo, *Monitoraggio diagnostico della chiesa di Santa Maria di Chiaravalle Milanese*, 1993), ha permesso un attento confronto fra il quadro delle fessure risalente al 1993 e lo stato attuale (2014), consentendo interessanti considerazioni riguardo all'evoluzione dei dissesti negli ultimi vent'anni.

La chiesa presenta un quadro fessurativo articolato, che interessa ampie zone della corpo di fabbrica, interrompendone talvolta la continuità strutturale.

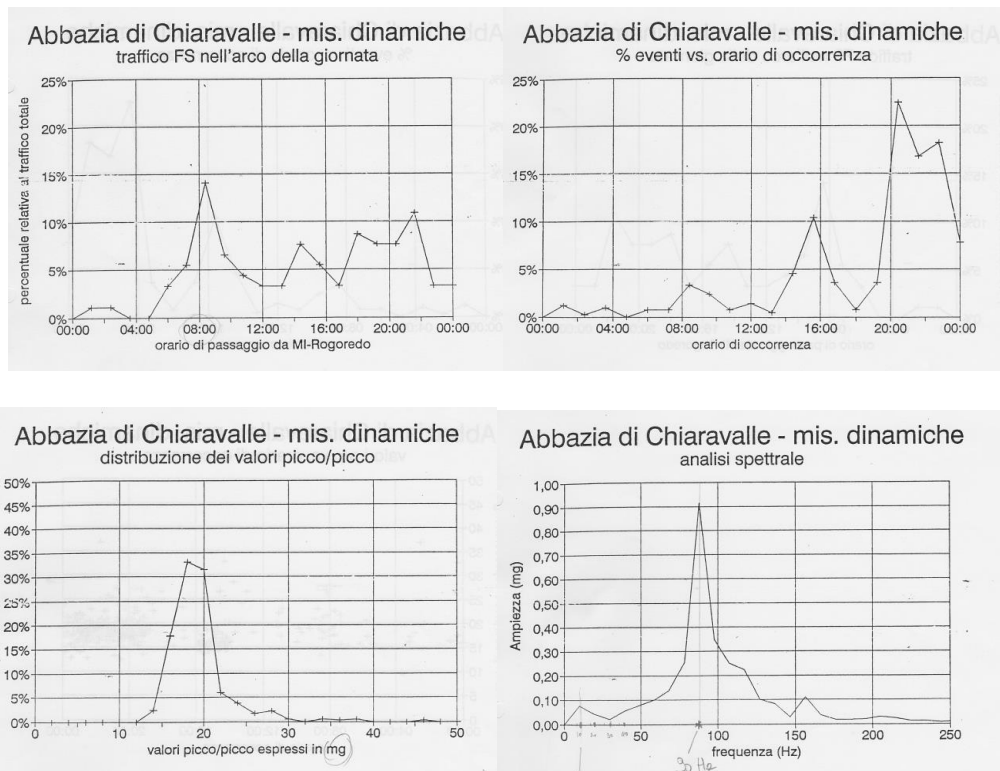
Particolarmente critica in termini di quadro fessurativo si è rivelata la situazione del transetto nord, evidenziata da recenti distacchi di intonaco all'intradosso della volta.

Dall'osservazione visiva e dal rilievo dello stato di fatto, è possibile dedurre che, con ogni probabilità, all'origine delle fessurazioni vi sono cedimenti differenziali dei terreni sotto l'effetto dei sovraccarichi imposti alla struttura preesistente al momento della costruzione della torre nolare.

Una campagna geognostica, condotta nel 1994, ha evidenziato come i terreni della zona absidale siano caratterizzati da una maggiore deformabilità rispetto a quelli della zona della facciata. A ciò si aggiunge l'abbassamento della falda freatica negli anni '70, che ha certamente contribuito allo stato attuale dei dissesti. Vanno ricordate inoltre le vibrazioni indotte dalla linea ferroviaria costruita nei pressi dell'abbazia, un tratto dismesso solo nel 2004.

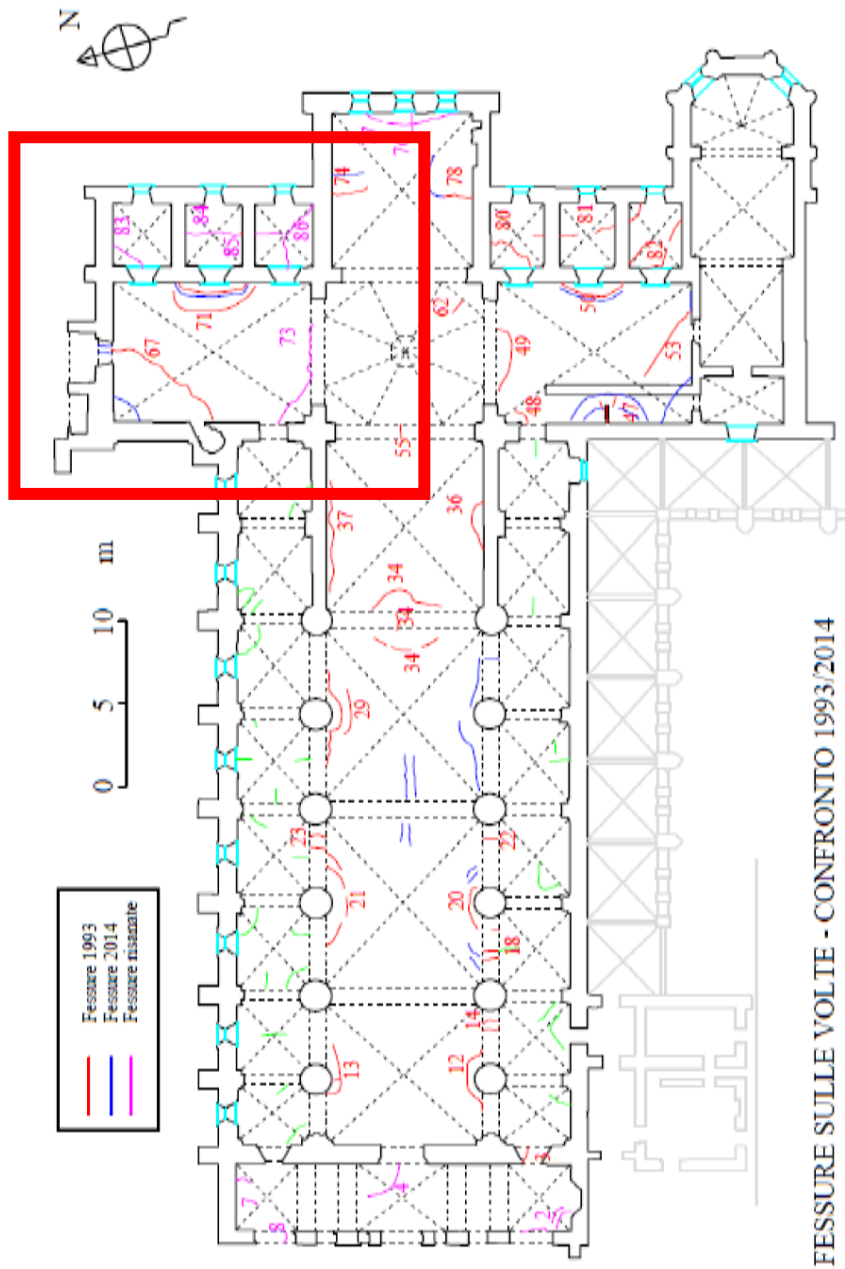
A tal proposito nel 1992 è stata condotta una registrazione dinamica degli effetti sulle strutture, indotti dal passaggio dei treni mediante un accelerometro posto all'estradosso della volta absidale, sulla falda Est (la più prossima alla linea ferroviaria) a metà della direttrice mediana congiungente il colmo della volta al muro Est. Con tale strumentazione si sono potute rilevare alcune delle frequenze proprie della struttura.

I valori ottenuti hanno restituito un picco molto pronunciato attorno a una frequenza di circa 90 Hz, che appare un'importante frequenza di risonanza propria della struttura. Di seguito alcuni grafici ottenuti.



Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Le misure dinamiche - 1992

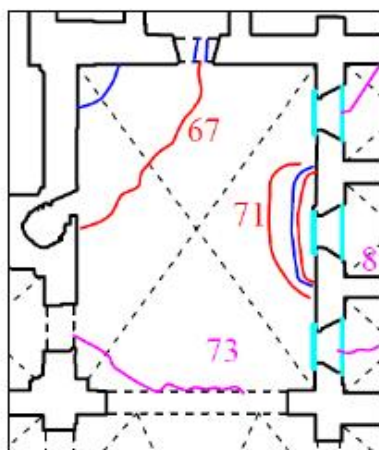


Il quadro fessurativo nella chiesa abbaziale: 1993/2014

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

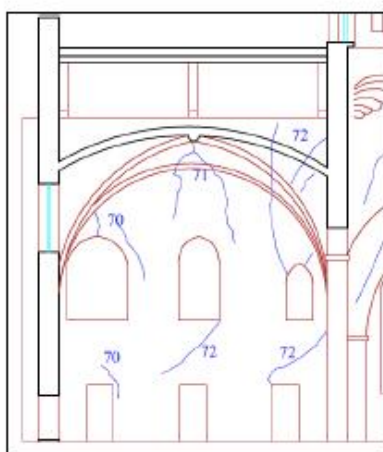
Volta

(lesioni 67, 71, 72)



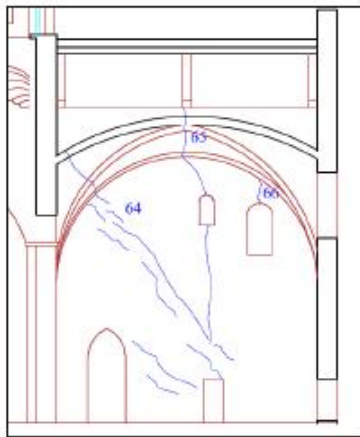
Parete Est

(lesioni 70, 71, 72)



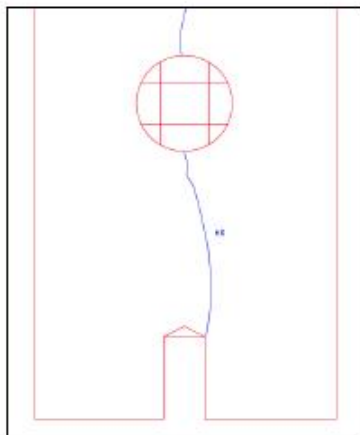
Parete Ovest

(lesioni 64, 65 66)



Parete Nord

(lesione 68)



La volta e le pareti del transetto sinistro sono state analizzate mediante analisi numeriche FEM, che hanno restituito picchi di sforzi a trazione sovrapponibili con le fessure esistenti.

Sulla base del quadro fessurativo attuale e sulla base dei risultati numerici, è possibile confermare la necessità di interventi di consolidamento strutturale anche per tale porzione di chiesa abbaziale.

Sono state valutate differenti soluzioni al problema strutturale, analizzando per ciascuna di esse i pregi ed i difetti, in termini di efficacia, compatibilità, reversibilità, minimo intervento e, naturalmente, in termini economici.

Tra le soluzioni si presenta quella che, allo stato attuale, appare la più efficace, leggera e meno invasiva.

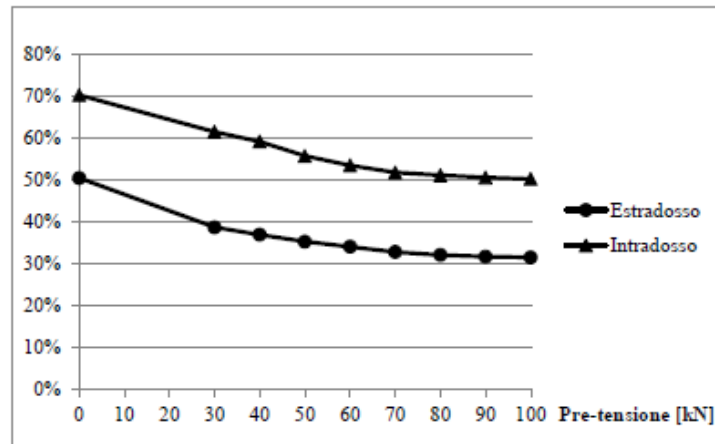
Si tratta della tecnica dell'*Arco Armato*, messa a punto dallo scrivente ed impiegata nel consolidamento di strutture simili a quella in oggetto. Ne sono esempi recenti il consolidamento della cupola ellittica della Chiesa di Santa Caterina a Lucca e le navate del Duomo di Colorno (PR) e del Duomo di Cremona.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

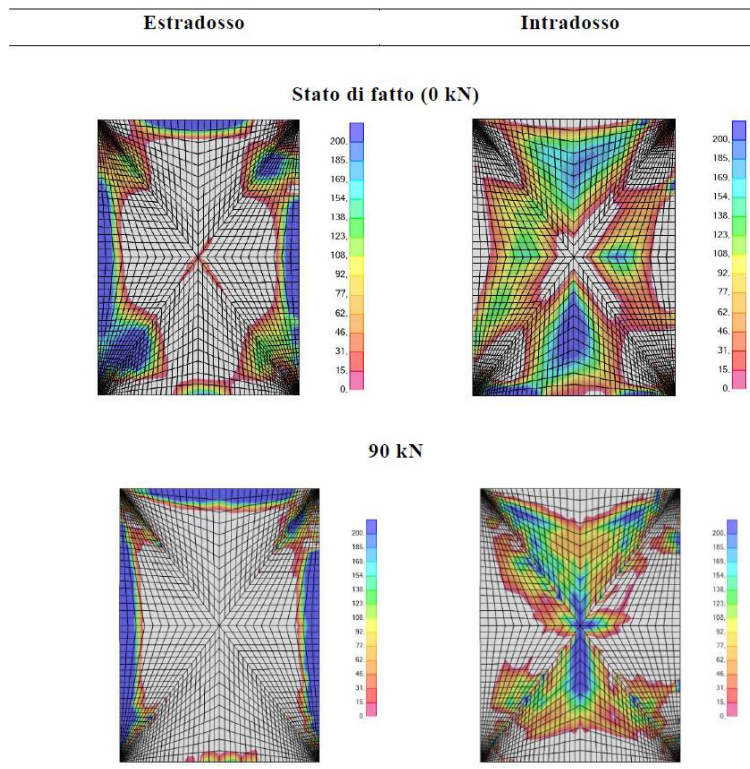
Il metodo prevede la stesura di cavi in acciaio inox posti in tensione parallelamente all'arco da consolidare, e ad esso opportunamente collegati, in modo da comprimere i conci in muratura, così da renderli capaci di resistere a flessione, evitando la formazione di cerniere plastiche.

I risultati numerici hanno evidenziato un benefico apporto dell'arco armato sulla volta del transetto sinistro della chiesa abbaziale, riducendo in maniera significativa le aree tese, e dunque la possibilità di formazione delle fessure.

Tale sistema si è dimostrato efficace sia in presenza di carichi verticali, che in presenza di carichi orizzontali sismici. Di seguito si riportano alcuni diagrammi che rappresentano gli sforzi nella volta del transetto ed il grafico di riduzione dell'area tesa al variare del tiro imposto ai cavi.



% di area tesa all'intradosso e all'estradosso della volta al variare del tiro nell'Arco Armato



Sforzi all'intradosso e all'estradosso della volta. Le zone compresse (di colore grigio) aumentano dallo stato di fatto allo stato consolidato con la tecnica dell'Arco Armato

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede



Realizzazioni dell'Arco Armato: in alto- Duomo di Colorno (PR); in basso- Santa Caterina a Lucca

Conclusioni e sviluppi futuri

Nella presente memoria state evidenziate alcune criticità strutturali che interessano l'Abbazia di Chiaravalle. In particolar modo sono state messe in luce la vulnerabilità della torre nolare e la necessità di intervenire sulla volta del transetto nord della chiesa.

Sono state proposte alcune soluzioni innovative di consolidamento strutturale, finalizzate alla messa in sicurezza e conservazione di tali elementi, garantendo al tempo stesso di soddisfare i ben noti criteri di rispetto della materia storica, minimo intervento e compatibilità. Per questo si è privilegiato l'uso di cavi in acciaio, leggeri, resistenti, efficaci e capaci di garantire una adeguata duttilità alla struttura.

Si ritiene utile citare alcuni altri aspetti legati al tema della diagnostica e della conoscenza del manufatto, che sarebbe estremamente consigliabile sviluppare in futuro.

Tra questi va ricordata la necessità di un *rilievo tridimensionale* di precisione dell'intera chiesa mediante *laser-scanner*, al fine di individuare fuoripiombo, spostamenti orizzontali all'imposta delle volte e, più in generale, peculiarità e anomalie geometriche altrimenti non rilevabili.

I risultati del laser scanner potranno essere implementati in un nuovo modello di calcolo, più accurato nel quale vengano adottate ipotesi di non-linearità, fin ora non introdotte.

Una applicazione simile è stata sviluppata dallo scrivente al Duomo di Cremona, recentemente ultimato.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

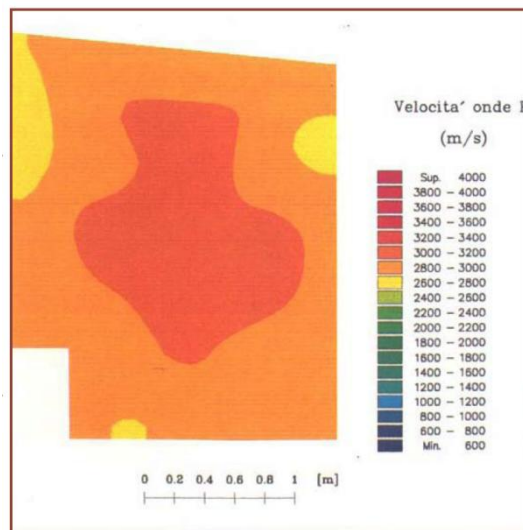
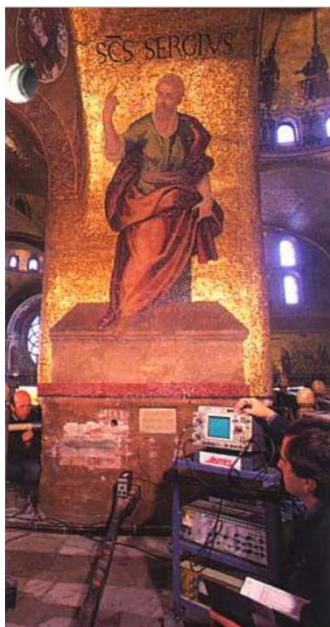
Di estrema utilità sarebbe il ripristino del *monitoraggio delle fessure*, interrotto vent'anni fa, così da valutare strumentalmente gli effetti delle variazioni del livello di falda sulle strutture.

Potranno anche essere acquisite nuove *registrazioni dinamiche*, da confrontare con i risultati delle modellazioni numeriche e con le misure del 1992.

Infine si suggerisce di condurre *tomografie soniche* sui grandi pilastri della navata centrale, al fine di valutare l'effettiva stratigrafia degli stessi e proporre soluzioni di cerchiatura attiva ed esteticamente meno impattanti, quale alternativa alle attuali fasce in acciaio.

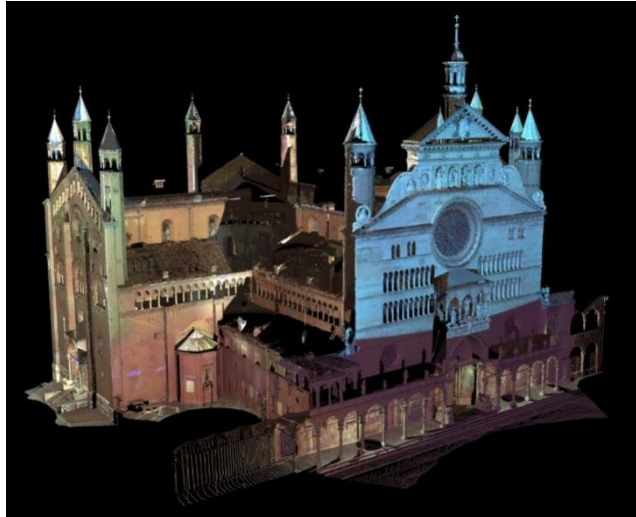


Le cerchiature dei pilastri della navata



Esempio di indagine tomografica condotta dall'ISMES sulle Basilica di San Marco a Venezia

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede



Restituzione del rilievo geometrico del Duomo di Cremona mediante Laser Scanner

E' doveroso formulare un sincero ringraziamento ad Alessio Battiston ed Enrico Buizza e soprattutto all'ing. Edoardo O. Radaelli per l'accurato lavoro svolto e per il contributo alla stesura di questa sintetica memoria relativa agli aspetti strutturali dell'Abbazia di Chiaravalle. All'arch. Silvio Fiorillo, che è stato il promotore di queste attività, va tributato un ringraziamento speciale e grato.

Bibliografia

- [1] L. Jurina, *Tecniche di consolidamento dei monumenti: una panoramica attuale*. In "Atti di IF-CRASC '12, V Convegno su Crolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento", Pisa 2012.
- [2] E. Giuriani, *Consolidamento degli edifici storici*, UTET Scienze Tecniche, 2011
- [3] L. Jurina, *Tecniche di cerchiatura di colonne in muratura*. In "L'Edilizia-Structural n.164", XVIII, pp.38-49, 2010
- [4] Jurina L., *La possibilità dell'approccio reversibile negli interventi di consolidamento strutturale*, Atti del XIX Convegno Scienza e Beni Culturali "La reversibilità nel restauro. Riflessioni, Esperienze, percorsi di ricerche, Bressanone, 1-4 luglio 2003
- [5] DPCM per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008" del 10 febbraio 2011.

Il Sud Milano e l'Abbazia di Chiaravalle:
una grande risorsa di storia, di agricoltura e di fede

Appendice: Cronologia

- **22 gennaio 1135** Fondazione dell'abbazia di Santa Maria di Chiaravalle
- **1150 – 1160** Demolizione della chiesa primitiva e avviamento dei lavori di quella attuale
- **1221** Termine dei lavori e consacrazione della chiesa a Santa Maria
- **XIII – XIV secolo** Costruzione della torre nolare e del chiostro: la torre risale all'inizio del XIV secolo, quella originaria presentava dimensioni più contenute.
- **Fine XIII secolo** Innalzamento della cupola
- **1412** Edificazione della cappella di San Bernardo e della sacrestia
- **1475** Costruzione degli archi a sesto acuto di rinforzo alla torre nolare
- **1493** Inizio della costruzione del chiostro grande e del dormitorio
- **1500** Costruzione dell'ingresso fortificato
- **1568** Costruzione della torre dell'orologio
- **1613** Riforma delle cappelle minori
- **1625** Facciata barocca della chiesa
- **1708** Modifiche alla sacrestia
- **1798 – 1799** Demolizione del tramezzo marmoreo del coro
- **XIX secolo** Graduali demolizioni e spoliazioni del monastero
- **1862** Inaugurazione della linea ferroviaria Milano-Pavia-Genova, la cui costruzione causa la demolizione del chiostro grande, del noviziato, della sala capitolare, del dormitorio e di parte delle cappelle del cimitero. Riparazioni alla torre-cupola.
- **1894 – 1896** Restauro del complesso da parte di Luca Beltrami.
- **1914** Restauro della torre nolare da parte di Gaetano Moretti.
- **1918 – 1920** Demolizione parte superiore della facciata barocca.
- **1958 – 1965** Restauri generali sotto la direzione dell'architetto Ferdinando Reggiori.
- **1965 – 1970** Assestamento della chiesa a causa dell'abbassamento della falda freatica e interventi del Genio Civile con opere di sottofondazione (micropali).
- **1991-1993** Rilievo delle fessure a opera della ditta "Solvo". Installazione di due piezometri per la misura dell'escursione della falda. Misure dinamiche delle vibrazioni indotte dalla ferrovia sulla struttura.
- **2000** Consolidamento strutturale delle cappelle del transetto sinistro (con inserimento di tiranti) ad opera della "SICEM", Geom. Pasta.
- **2004** Chiusura del tratto della linea ferroviaria Milano-Pavia-Genova