

CIMITERO MONUMENTALE DI S. CATALDO : GENESI STORICA, RESTAURI ED ESIGENZE DI INTERVENTO

Prof. Arch. *Nina Avramidou*, Università di Firenze
Facoltà di Architettura, Cattedra di Tecnologie per il recupero edilizio
nina.avramidou@taed.unifi.it

E' facile rendersi conto che al visitatore del complesso monumentale di S. Cataldo che percorre le sue gallerie ritmate dalle luci del suo maestoso collocato, nasce, non solo un profondo senso di pace ma anche la curiosità ed il bisogno di ricordare e di ripercorrere la sua storia, il suo lento costruire durato circa tre secoli, a partire dall'impianto settecentesco. Non di meno San Cataldo è uno dei primi cimiteri extra urbani realizzati in Italia.



Colonnato Cesare Costa

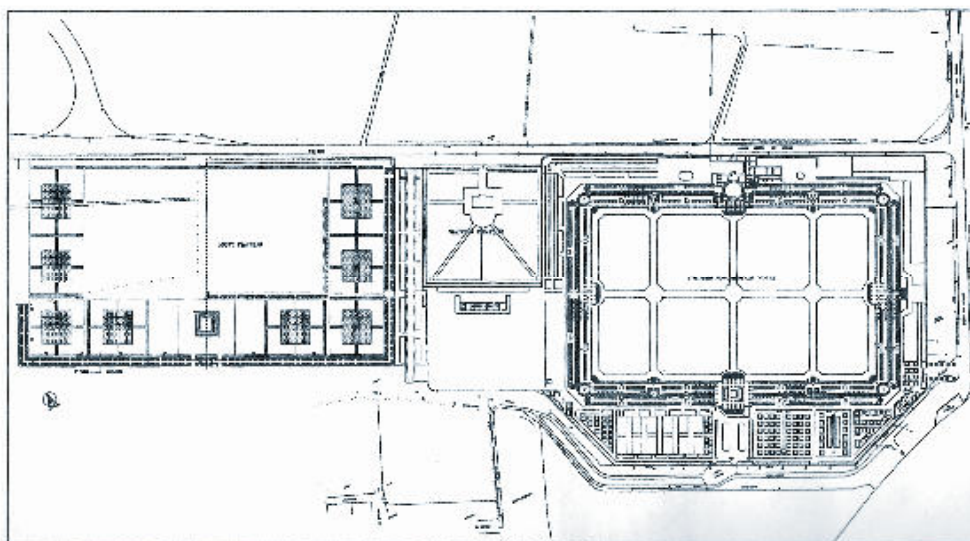


Colonnato Aldo Rossi

Attraverso le vicissitudini progettuali e costruttive del complesso monumentale di S. Cataldo, si rivivono le vicende storiche dell'intera città di Modena negli ultimi tre secoli, come pure il dibattito internazionale sviluppatosi attorno all'architettura dei cimiteri che si è concretizzato nei tempi più recenti con la realizzazione del nuovo cimitero di Aldo Rossi, proprio adiacente a quello di Cesare Costa.

Il vecchio e il nuovo cimitero, strutturati nel loro insieme come una città nella città, ripropongono un'attenta reinterpretazione e riproposizione degli elementi urbani modenesi; entrambi i progettisti entrano nella storia del *locus*, per rivelare la sua struttura, i suoi elementi, le sue particolarità. E' la città stessa che diviene la forza generatrice delle architetture del complesso di S. Cataldo. La *memoria collettiva* racchiusa nei suoi spazi sapienti nasce proprio da un linguaggio espressivo che considera l'architettura come il risultato di una continua elaborazione umana dello spazio naturale e sociale.

La presa di coscienza del complesso sistema di valori intrinsecamente connessi al patrimonio culturale di S. Cataldo, stimola verso la ricerca e l'adozione di nuovi modelli di tutela e di valorizzazione degli spazi architettonici e delle insigni opere d'arte sparse sia nel camposanto che lungo le gallerie che ad esso si affacciano.



Visione generale del complesso cimiteriale di San Cataldo. A destra, il cimitero monumentale di Cesare Costa. A sinistra, quello di Aldo Rossi e Gianni Bragheri. In centro, il cimitero israelitico

L'idea di inventare e mettere in essere un **Progetto Culturale per S. Cataldo**, con una serie di azioni programmate e finalizzate all'ottimizzazione di tutte le future azioni legate alla sua salvaguardia e fruizione culturale, nasce dalle esigenze sopra espresse e l'occasione per la sua concretizzazione, anche se parziale, ci è stata offerta con il progetto di "restauro dei danni e miglioramento sismico" iniziato nel 2003. Si tratta di un progetto che punta ad un'armonizzazione tra le istanze di *conservazione* e quelle di *fruizione* del bene sia da parte dei cittadini modenesi che dei visitatori di passaggio.



Vista panoramica del camposanto di S. Cataldo dal tetto

La *conservazione* riguarda tutti gli interventi finalizzati alla sua tutela, la *fruizione* riguarda la problematica d'uso del bene in rapporto alla realtà contemporanea. Se l'attribuzione di funzioni inadeguate alle norme vigenti in materia cimiteriale ha spesso determinato degradi irreversibili al complesso, è da considerare anche che ogni caduta, anche parziale, di fruizione di alcuni specifici settori interni ha determinato una caduta del valore socio-culturale del bene e del suo ruolo attivo nel presente.

Il Progetto Culturale per S. Cataldo esclude apriori la sua museificazione, cioè la sua riduzione ad un bene culturale incapace di attivare un processo dialogico-partecipativo con la contemporaneità, e punta soprattutto a riattivare il legame psicologico affievolito che oggi esiste tra la collettività ed il bene stesso. Il rischio maggiore che deriva dal processo di disconoscimento del bene da parte della collettività è di sviluppare la disaffezione dal bene e l'indifferenza verso il suo stato di conservazione. La popolazione è portata di conseguenza a non condividere gli obiettivi di tutela e di valorizzazione che si intraprendono dagli amministratori, ma subisce i restauri solo per i fastidi che questi comportano: rumore, polvere, ingombranti e antiestetici ponteggi, pericoli costanti di infortuni.

Con questo progetto si è cercato di stimolare l'attivazione di nuove politiche strategico-gestionali per gli interventi su San Cataldo (conservazione, restauro, adeguamento, restyling), finalizzate ad attivare un processo comunicativo e cooperativo della cittadinanza, contribuendo così allo sviluppo di una cultura collettiva e condivisa del restauro. Questo processo partecipativo-dialettico diventa fondamentale quando l'intervento è promosso da una Pubblica Amministrazione, alla quale la cittadinanza chiede di operare con criteri di trasparenza ed evidenza. **Obiettivo finale è far divenire il cantiere, oltre un luogo fisico dell'intervento di restauro, un laboratorio di cultura aperto ad attività divulgative, didattiche, formative e di ricerca.**



La chiesa del Suffragio del cimitero monumentale di S. Cataldo



Monumento ai caduti.

Per un archivio della memoria racchiusa nel complesso storico di San Cataldo a Modena

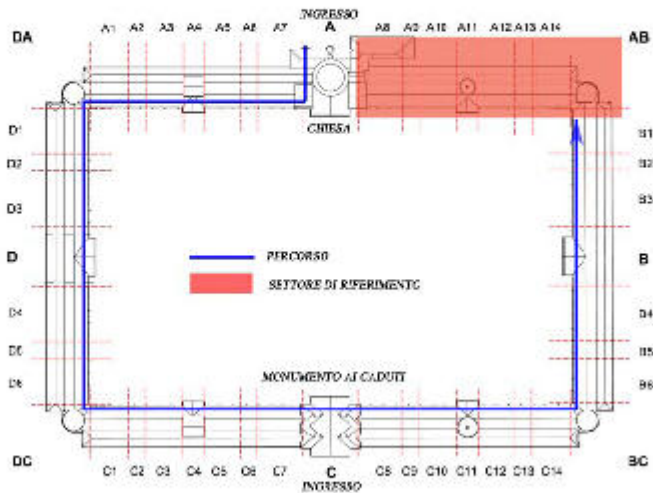
Uno dei prodotti del progetto culturale per S. Cataldo è la “**Guida storica di S. Cataldo**”. In questo testo viene prospettata una nuova strategia di gestione attraverso la quale promuovere scenari di possibile sviluppo alternativo e di stimolo, ad es., coniugando il luogo sacro al turismo, turismo inteso come valore aggiunto e come portatore di benefici sulla città meta del viaggio e creando nuovi orizzonti occupazionali. Da una tipica cultura locale della morte, facendo tesoro delle specificità architettoniche e simboliche dei manufatti cimiteriali e dei caratteri mediterranei dell’ambiente-giardino racchiusi spesso al loro interno, il visitatore viene avvicinato, in modo semplice e diretto, all’arte esposta in mezzo alla natura, essendo stimolato spontaneamente verso la conoscenza e la riflessione, e divenire parte attiva in tutte le iniziative future culturali e di salvaguardia.

L’espansione urbana dei due secoli passati ha modificato i rapporti con i luoghi cimiteriali, a volte inglobandoli, ma, ove si è potuto mantenere un certo isolamento del luogo delle sepolture dal contesto urbano, come nel caso del cimitero modenese di S. Cataldo, si è avuto conferma che esso è un organismo estremamente dinamico, sia nella sua crescita dimensionale che nell’evoluzione spaziale e formale, tale da avere delle analogie e dei riferimenti all’evoluzione stessa della città di Modena. I due cimiteri, quello di Rossi-Braghieri e quello di Costa, realizzati in epoche assai differenti, riflettono infatti scorci urbani e visuali prospettiche vecchie e nuove della città di Modena.

Per la presenza di contributi importanti delle arti decorative e applicate dell’Ottocento e Novecento, il complesso cimiteriale antico di S. Cataldo, nel corso degli anni, è divenuto un vero e proprio museo di scultura e architettura all’aperto. La scultura propone un articolato repertorio di soggetti che vanno dal **neoclassicismo** al **simbolismo liberty** per concludersi con il **razionalismo**. La presenza di tanti contributi artistici e di rimandi alla storia della città di Modena, fanno del cimitero monumentale di S. Cataldo un luogo virtuale di un percorso storico, che viene riproposto dagli A.A. con il testo *Guida Storica per San Cataldo*, un percorso che evidenzia come in questo luogo e nelle forme che racchiude è depositata la memoria della città.

Silvestro Barberini (1854-1916)

MONUMENTO FUNERARIO
DELLA FAMIGLIA FEDREZZONI, 1914
Settore A10



Per cogliere le dinamiche di crescita, delle trasformazioni, dei danni e degli abbandoni subiti dai tre cimiteri di S. Cataldo, bisogna entrarvi, sentirne l'atmosfera. L'esperienza diretta e le sensazioni raccolte nel passaggio tra i vialetti del camposanto e delle gallerie del piano rialzato, raccolte in orari e in stagioni diverse, conta più dell'aspetto esteriore.

Nel percorso di conoscenza del complesso cimiteriale da parte dei progettisti del recente intervento strutturale, lo sguardo si posava prima alle lesioni e ai dissesti strutturali, poi, sempre più curioso ed affascinato, si imbatteva in una grande quantità di elementi e di forme attraverso le quali si creano effetti di luci e di trasparenze, in sculture ed immagini che si presentavano come ricchi contenitori della cultura e della memoria storica modenese. Ci si rendeva conto lentamente che essi ci offrivano, generosamente e con semplicità, un archivio straordinariamente suggestivo e affascinante di arte, di mentalità, di costume, di contemplazione, attraverso le esistenze individuali e le vicende collettive (monumento ai caduti e sepolture militari), legate a storie di vita a volte straordinarie e altre passate inosservate, alcune lunghissime e altre brevi come un sospiro (come quelle dei fanciulli dell'ottocento sepolti nel piano seminterrato del cimitero di Cesare Costa).

Con la “Guida Storica per San Cataldo” abbiamo voluto far partecipi della nostra straordinaria esperienza a S. Cataldo i cittadini di Modena ai quali appartiene questo bene architettonico che è una delle architetture più significative dell'Ottocento e Novecento modenese, ma anche di sottolineare che esso rappresenta una “risorsa strategica” in grado di catalizzare potenzialità di sviluppo sostenibile che vanno ricercate accuratamente per consentire di conservarlo e tramandarlo alle generazioni future. Si tratta di proporre e promuovere scenari di possibile sviluppo alternativo, iniziative innovative, come ad es., coniugare questi beni al turismo, turismo inteso come valore aggiunto e come portatore di benefici sulla città meta del viaggiatore e creando nuovi orizzonti occupazionali e di rinnovata economia per la città.

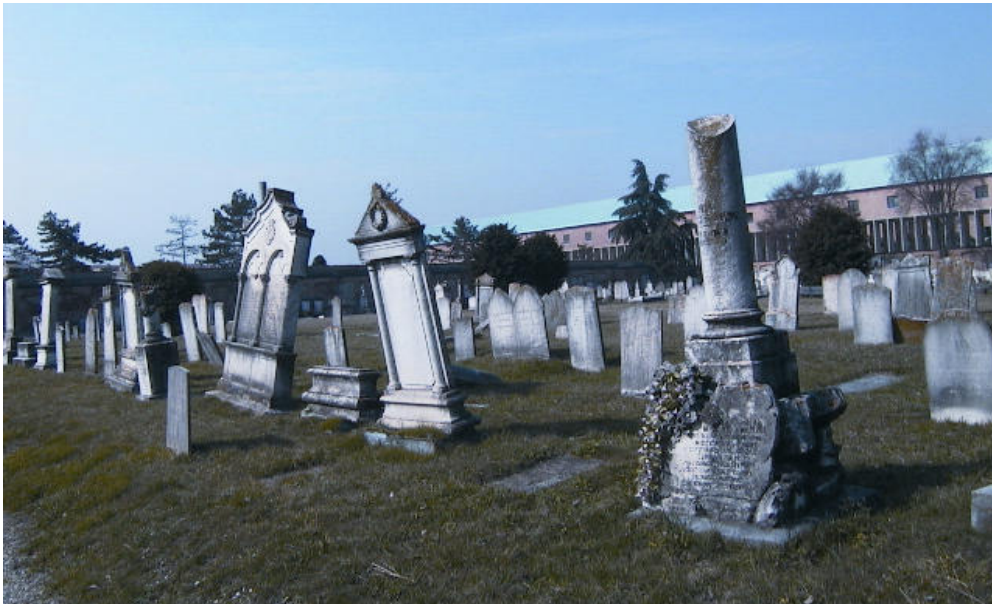


2006. Esposizione del progetto esecutivo citato nella relazione: indagini storiche, tecnologie costruttive, lavori di restauro e rinforzo nelle gallerie verso il caposanto

Allo scopo di contribuire a preservare l'identità mistica e storica del luogo ed il significato paesaggistico dell'insieme, si è voluto con il “Progetto culturale per S. Cataldo”, stimolare l'interesse culturale dei modenesi verso la struttura cimiteriale stessa, ipotizzando itinerari di conoscenza e di approfondimento delle opere scultoree che ivi si conservano. Percorsi culturali e narrativi di civiltà, di spiritualità, di fede, che si snodano lungo le gallerie e i vialetti del camposanto di Costa, in cui sono ubicate le Cappelle Gentilizie più significative per arte, architettura e semanticità. Visitazione delle scultoree sparse nel camposanto del cimitero cristiano e di quello israelita, cariche di espressive affermazioni materiali ed artistiche, con ampia possibilità di coinvolgimento e di interesse anche

verso coloro che si recano in semplice visita turistica. Il visitatore si avvicina in modo semplice diretto all'arte esposta in mezzo alla natura, essendo stimolato quasi spontaneamente verso la conoscenza e la riflessione, oltre che essere indirettamente sollecitato a prendere conoscenza dei temi che riguardano la salvaguardia e tutela della struttura stessa e divenire parte attiva in tutte le fasi degli interventi futuri.

Nella guida storica di S. Castaldo si inquadrano anche alcuni aspetti storici del cimitero israelitico, che è l'anello di congiunzione tra il cimitero di Cesare Costa e quello di Aldo Rossi e Gianni Bragheri. Può sembrare retorico affermare che al visitatore invada un senso di distensione mentre lo attraversa per passare dal cimitero antico a quello nuovo, entrambi carichi di sobria monumentalità, percorrendo semplici vialetti che separano le graziose sculture delle lapidi tombali inclinate come salici piangenti per la totale incuria degli uomini. Ai valori culturali che questo monumento racchiude in se, si aggiunge una rispettosa ammirazione e la curiosità di capire i significati e i messaggi ideologici attorno all'eterno mistero.



Circa un secolo dopo la realizzazione del cimitero progettato da Cesare Costa, esattamente nel 1971, viene indetto dal Comune di Modena un concorso nazionale per la realizzazione di un nuovo cimitero adiacente al primo, ormai insufficiente ad ospitare ulteriori sepolture. Ad aggiudicarselo saranno gli architetti Aldo Rossi (1931-1997) e Gianni Bragheri, i quali, sulla base della piena accettazione dell'impianto del Costa quale matrice progettuale, concepiranno un progetto denso di suggestioni personali.

Il progetto non è mai stato realizzato interamente, mentre il tempo trascorso ha lasciato anche in questo complesso profonde ferite che richiedono una manutenzione programmata pluriennale su basi scientifiche accurate.



Cimitero di Rossi- Braghieri



A sinistra: il viottolo che unisce i due cimiteri, antico e nuovo. A destra. L'ossario del cimitero di Rossi-Braghieri.

Il nuovo cimitero, ottenuto duplicando le dimensioni del grande rettangolo del cimitero adiacente, è collegato ad esso mediante un corpo destinato ai servizi situato nell'area posteriore del preesistente cimitero. Purtroppo la visione complessiva di quest'opera è compromessa dalla mancanza di realizzazione di uno dei due elementi di progetto, architettonicamente e simbolicamente di maggiore rilievo, ovvero della grande ciminiera: un cono tronco mai eseguito, al di sotto del quale era stata immaginata la fossa comune. Pertanto, se fosse stato possibile, sarebbe apparsa evidente la volontà degli autori di stabilire tra l'immagine industriale della ciminiera mai eseguita e del cubo/casa dei morti, un rapporto di analogia con i temi della città moderna (come la vita e la fabbrica). Tuttavia, venuto meno il primo termine, o meglio mai creatosi, non resta che l'immagine di un casa cubica tra la nebbia, incompiuta e anche un po' abbandonata con la cui idea della morte si deve inevitabilmente fare i conti.

Il dibattito sulle esigenze di tutela e conservazione del complesso monumentale di S. Cataldo è da tempo aperto. Il congresso promosso MO06 intende contribuire a questo dibattito cercando risposte da un confronto d'idee a livello internazionale.

L'intervento di “Restauro dei danni e Miglioramento sismico” effettuato negli anni 2004-2006 nel Cimitero di Cesare Costa

Il complesso cimiteriale di S. Cataldo, progettato da Cesare Costa, forma un rettangolo che racchiude al suo interno il camposanto di dimensioni 33.176 mq. Il perimetro esterno è di 916 ml e quello interno di 750 ml; lo sviluppo della sezione trasversale che forma le tre gallerie interne è di 20 ml; l'area coperta del complesso è di 17.000 mq; L'altezza di gronda (dal livello del camposanto è di 20 m; l'altezza massima in corrispondenza della cupola della chiesa a nord (dal pavimento all'estradosso della cupola nella cuspide) è di 23 m. Il volume totale è di circa 200.000 mc. Sono datati 1860 i disegni di Costa che mostrano una chiara derivazione del suo progetto dal cimitero di Verona, realizzato da Barbieri a partire dal 1830.

Lo sviluppo del “serpentone”, è interrotto in corrispondenza delle mezzerie dei suoi lati corti e lunghi e negli spigoli da edicole e ingressi; nella mezzeria del lato nord è ubicata la chiesa (parte più antica) e nel lato opposto il monumento ai caduti (parte più recente).

La tipologia del fabbricato seriale è suddiviso internamente in un porticato rivolto verso il camposanto, di ordine dorico “pestano” e in una galleria interna, con campate scandite da lesene. Il solaio che delimita superiormente il piano rialzato è progettato a volta semicircolare continua a botte sul portico e a voltine a crociera rampanti con aperture semicircolari praticate nelle lunette. Il complesso edilizio attuale, realizzato nell’arco di più di un secolo, dall’interno del camposanto appare omogeneo ed uniforme in tutti i suoi prospetti, mentre, di fatto, sia strutturalmente che tecnologicamente, è fortemente eterogeneo

Fig. San Cataldo. Prospetto settore...

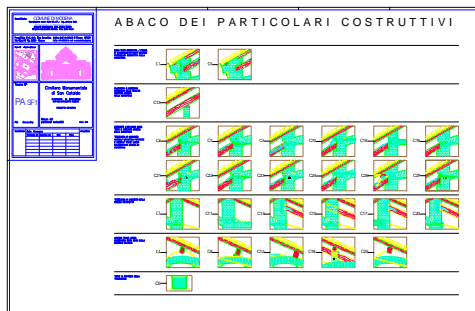
I vari corpi che lo compongono sono stati realizzati, di volta in volta, con le tecnologie in uso nel periodo della realizzazione di ogni specifico tratto (dettagliatamente riportate nella relazione storica e nelle tavole tecnologiche del progetto preliminare); ad esempio, le sobrie ed eleganti colonne di colore grigio-verde del porticato sono state realizzate inizialmente (Costa) in blocchi di pietrame e negli ampliamenti successivi in calcestruzzo armato gettato in opera e rivestito di breccino; le voltine a padiglione e quelle a crociera che adornano i corridoi del piano rialzato, sono state, in parte, realizzate con mattoni posti “in foglio” e murati con il gesso senza l’ausilio di centine (tecnica molto diffusa alla seconda metà del ottocento in molte città europee ed in particolare in Spagna); le voltine invece realizzate dopo gli anni sessanta sono prefabbricate in calcestruzzo armato. Grande varietà anche nei vincoli dei vari elementi tecnici e negli ancoraggi delle catene, a volte incassati e a volte a vista.



estradosso volina a crociera



estradosso voltina a padiglione



Abaco delle tipologie di ancoraggio delle catene del sottotetto

La struttura portante è stata ripetutamente colpita in passato da eventi sismici che hanno provocato danni consistenti quasi dappertutto e più rilevanti nei locali sottotetto ove preesistevano serie carenze strutturali e manutentive.



Lunette lesionate, galleria interna piano rialzato



Galleria interna, piano rialzato

Pur essendo il complesso edilizio progettato con estrema cura in tutti i suoi particolari architettonici dall'Ing. Arch. Cesare Costa, presenta già all'origine problematiche strutturali importanti legati al suo terreno di fondazione. Per la sua costruzione, infatti, viene scelto dalle autorità competenti un terreno lagunoso e costipato con materiali di risulta di vario tipo, che hanno acconsentito di edificare le gallerie e di sopraelevare il caposanto rispetto a queste di 1,6-2,00 m. Problemi strutturali emersero fin dalle prime fasi realizzative del corpo nord (chiesa del suffragio e gallerie adiacenti) ed hanno indotto Costa - e il collaboratore che l'ha sostituito dopo la sua morte - a prendere provvedimenti e apportare modifiche al progetto strutturale originario (esposte dettagliatamente nelle relazioni storica e geologica del progetto di restauro e rinforzo citato sopra).

Considerate le scarse caratteristiche meccaniche del terreno, si è analizzato accuratamente lo stato di sollecitazione derivante da possibili cedimenti differenziali delle fondazioni. I cedimenti sono stati ottenuti imponendo degli spostamenti verticali ai nodi in corrispondenza della base del modello agli elementi finiti.

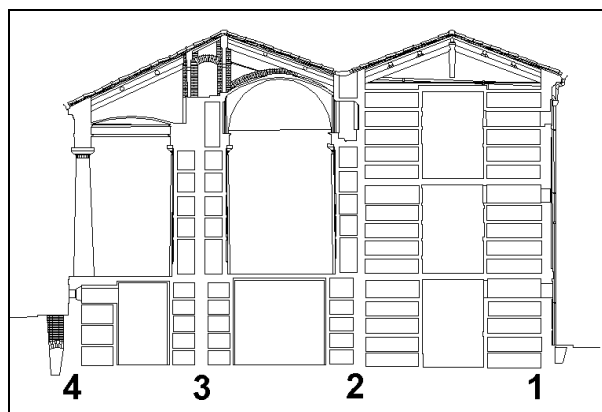


Fig. ...1-4: setti ai quali sono stati imposti spostamenti verticali nell'analisi strutturale

Gli spostamenti differenziali sono stati imposti di volta in volta in corrispondenza delle fondazioni delle pareti 1, 2, 3 e 4 (come indicato in [figura.....](#)), definendo quattro diverse condizioni di cedimenti differenziali.

Si è controllato in particolare l'andamento delle tensioni nelle volte del porticato e della galleria centrale dove si erano verificati danni più rilevanti, sia statici che dinamici.

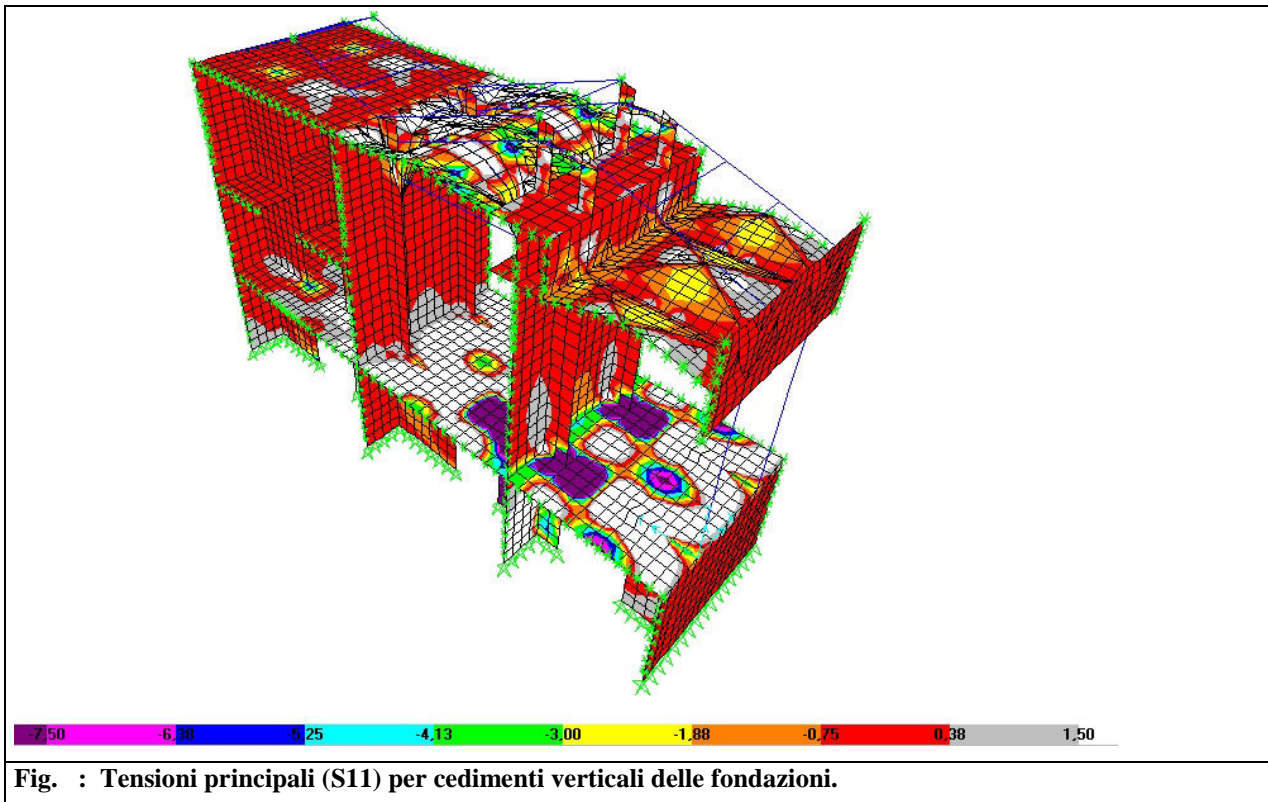


Fig. : Tensioni principali (S11) per cedimenti verticali delle fondazioni.

Attraverso il confronto dell'andamento delle tensioni principali, prima e dopo il cedimento differenziale imposto, si rileva come ciascuno dei suddetti cedimenti provochi pericolose tensioni di trazione nelle volte del porticato e della galleria, in quanto si raggiungono valori massimi delle tensione di trazione superiori a 1.5 MPa.

In particolare il "cedimento 4" provoca forti tensioni di trazione sia sulle volte del porticato che su quelle della galleria centrale, mentre i cedimenti 2, 3 e 4 influiscono principalmente sullo stato di sollecitazione delle volte della galleria centrale (voltine a crociera).

I cedimenti differenziali causerebbero quindi gravi stati tensionali e gravi lesioni qualora fossero in atto, come si evince dall'analisi dei modelli numerici. Per questo motivo si rende opportuno il monitoraggio dell'edificio, onde assicurarsi che tale fenomeno sia assente o estinto.

Criteri di progetto per il restauro dei danni e miglioramento sismico

I criteri di progetto adottati sono stati in diretto riguardo al valore culturale della costruzione, ponendo una particolare attenzione:

- ai materiali e magisteri originali, nonché alle trasformazioni successive;
- alla ricostruzione della storia architettonica e delle riparazioni seguite ai recenti eventi sismici;
- ad un rigoroso e sistematico approccio interdisciplinare in tutte le fasi progettuali, con riferimento agli apporti architettonici, storici, geotecnici, strutturali;
- al ricorso a tecniche e materiali il più possibile vicini agli originali, con severo esame critico interdisciplinare (compatibilità materica e meccanica, durabilità, reversibilità) di materiali difformi da questi.

In particolare, gli interventi effettuati riguardavano:

- i.)** Interventi finalizzati ad assicurare un buon assetto planovolumetrico dell'edificio curando particolarmente la qualità dei collegamenti tra le pareti e gli orizzontamenti. Si è dato preferenza agli interventi non invasivi, come catene o profili metallici, evitando le cordolature in breccia.
- ii)** Interventi rivolti a ridurre sensibilmente la spinta delle coperture, degli archi e volte della prima e seconda galleria¹; interventi non invasivi, realizzati attraverso la disposizione di catene metalliche.
- iii)** Interventi volti ad eliminare o ridurre gli indebolimenti dei setti murari più volte danneggiati dai sismi della struttura portante originaria nel piano seminterrato e nelle pareti del corpo aggiunto a fianco della Chiesa, e delle voltine a padiglione prive di frenelli; in particolare, interventi non invasivi per i locali del seminterrato (stilatura profonda dei giunti, sostanze che impediscono la migrazione dei sali igroscopici dall'interno della muratura verso il paramento esterno), placcaggio con malta bastarda e rinforzo con rete polimerica² nei locali sottotetto non praticabili.
- iv)** Interventi di consolidamento delle voltine a padiglione e a crociera con nastri fibrorinforzati al carbonio, FRP, applicati prevalentemente all'estradosso.



Fig. Voltine a padiglione. Placcaggio estradossole con reti polimeriche Voltine a crociera. Rinforzo estradossole con nastri FRP.

Per quel che riguarda le “patologie ordinarie” del monumento, si è proceduto a tipologie di intervento basate sul criterio della conservazione diffusa che, abbinata al ben noto concetto normativo di “miglioramento sismico”, consente di conseguire l’obiettivo della prevenzione dal rischio sismico.

Gli interventi effettuati riguardavano:

- Il ripristino dell’efficienza dei vincoli strutturali compromessi dai sismi precedenti e da mancata manutenzione;
- La riparazione degli orizzontamenti (tetti, cupolette, volte, archi, piattabande) con procedimenti prevalentemente tradizionali (sostituzione parziale degli elementi lignei degradati, ripristino della tensione nelle catene metalliche e rinforzo/sostituzione di capichiave, collocazione di nuove tirantature ai piani a bassa tensione di esercizio, reintegrazioni parziali di archi e piattabande, rinforzo delle superfici voltate leggere

¹ Porzioni più antiche del complesso edilizio.

² L’uso della rete polimerica consente di non variare sostanzialmente gli spessori originali delle sezioni e i pesi propri.

che pur non essendo state concepite come sismoresistenti in origine, costituiscono pericolo per l'incolumità pubblica in caso di sisma;

- La riparazione delle lesioni verticali o subverticali con procedimenti tradizionali, al fine di ricostituire, pur senza eccessivi irrigidimenti, la continuità della compagine muraria;
- La scarnitura dei giunti, rabboccatura e ripristino con malta tradizionale degli intonaci, la dove preesistevano e sono caduti, reintegrazione delle capacità portanti della compagine muraria.

Dalle analisi strutturali svolte si è rilevato che per tutti e tre i tipi di voltine a padiglione (senza frenelli, con frenelli e con cappa in cemento) si raggiunge in caso di terremoto la massima tensione di trazione sopportabile dalla muratura. Per l'ottimizzazione dell'intervento (disposizione e quantità dei nastri FRP) sono stati verificati vari modelli strutturali, riportati nel grafico seguente.

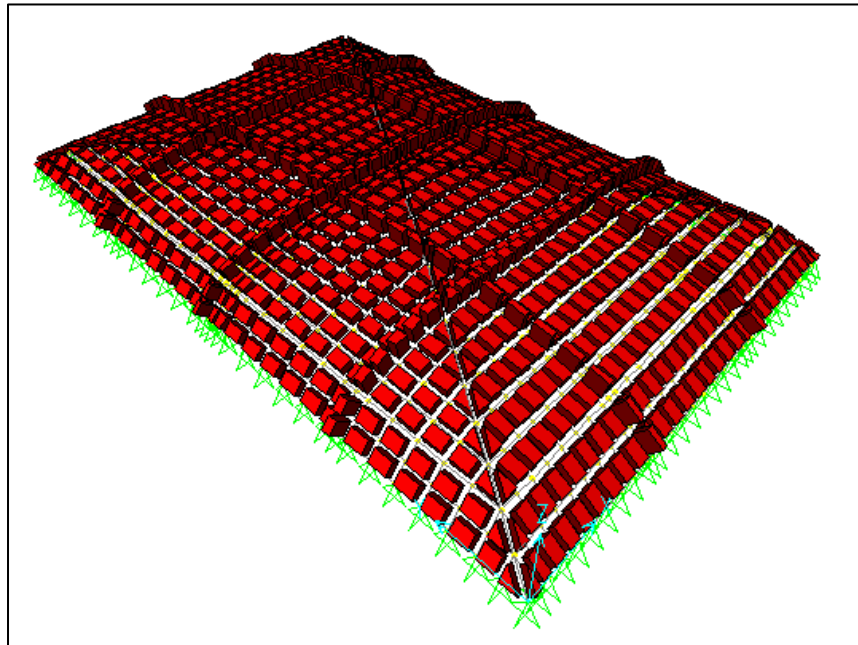

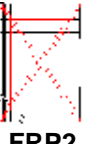


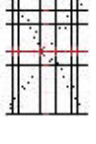


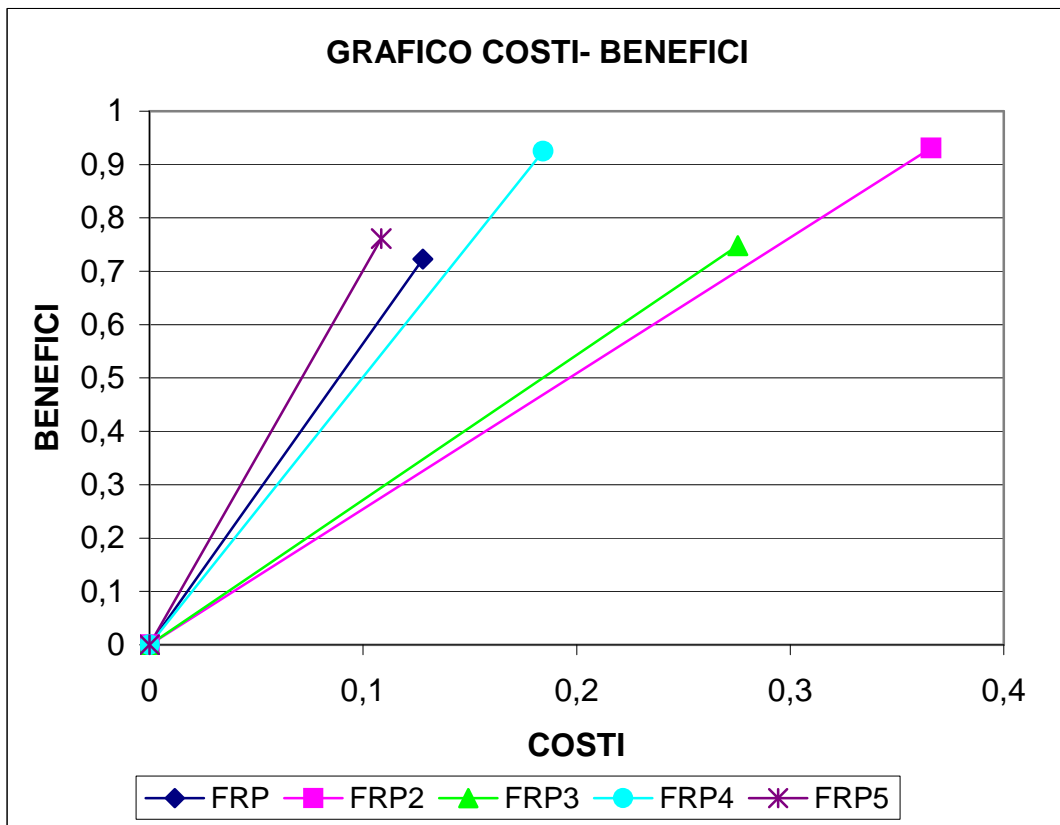
Fig. Modello strutturale delle voltine a padiglione con frenelli.

Gli esiti delle analisi svolte sono stati messi a confronto sia su parametri tensionali che deformativi operando una parametrizzazione che ha consentito di ottimizzare le scelte d'intervento.

Nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti con diverse disposizione delle fibre sulle voltine a padiglione del piano rialzato allo scopo di ottimizzare il rapporto costi/benefici. A tale scopo è stato definito un indice di beneficio che tiene conto della quantità di materiale utilizzato (area di FRP rispetto all'area totale della volta) e delle prestazioni ottenute in termini di massime tensioni di trazione.

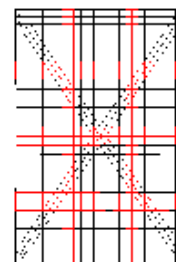
MODELLO	comb. di carico	f max (cm)	S11max traz (Kg/cm²)		S22max traz (Kg/cm²)		T (sec)	AREA FRP (m²)	%	I.B.
 FRP	carichi perm	-0,011	0,8	intrad	2,37	estrad	0,0184	1,18	12,80	0,95
	sisma X+pp	-0,011	1,08	intrad	3	estrad	0,0184	1,18	12,80	0,74
	sisma Y+pp	-0,011	0,98	intrad	2,39	estrad	0,0184	1,18	12,80	0,89
	sisma Z+pp	-0,02	2,17	intrad	3,81	estrad	0,0184	1,18	12,80	0,50
 FRP2	carichi perm	-0,0108	0,9	intrad	1,65	estrad	0,018	3,38	36,66	1,18
	sisma X+pp	-0,011	1,02	intrad	2,11	estrad	0,018	3,38	36,66	0,96
	sisma Y+pp	-0,011	0,93	intrad	1,67	estrad	0,018	3,38	36,66	1,15
	sisma Z+pp	-0,019	1,94	intrad	2,67	estrad	0,018	3,38	36,66	0,65
 FRP3	carichi perm	-0,011	0,82	intrad	2,36	estrad	0,0181	2,54	27,55	0,94
	sisma X+pp	-0,011	1	intrad	3,03	estrad	0,0181	2,54	27,55	0,74
	sisma Y+pp	-0,011	0,83	intrad	2,39	estrad	0,0181	2,54	27,55	0,93
	sisma Z+pp	-0,019	1,79	intrad	3,82	estrad	0,0181	2,54	27,55	0,53
 FRP4	carichi perm	-0,011	0,93	intrad	1,65	estrad	0,0186	1,7	18,44	1,16
	sisma X+pp	-0,011	1	intrad	2,1	estrad	0,0186	1,7	18,44	0,97
	sisma Y+pp	-0,011	0,95	intrad	1,67	estrad	0,0186	1,7	18,44	1,15
	sisma Z+pp	-0,02	2,01	intrad	2,66	estrad	0,0186	1,7	18,44	0,64
 FRP5	carichi perm	-0,011	0,7	intrad	2,42	estrad	0,0186	1	10,85	0,96
	sisma X+pp	-0,012	0,88	intrad	3,1	estrad	0,0186	1	10,85	0,75
	sisma Y+pp	-0,011	0,73	intrad	2,45	estrad	0,0186	1	10,85	0,94
	sisma Z+pp	-0,02	1,56	intrad	3,92	estrad	0,0186	1	10,85	0,55

Nel grafico seguente si riportano i risultati ottenuti in termini di rapporto costi-benefici per le voltine a padiglione rinforzate con nastri al carbonio FRP.

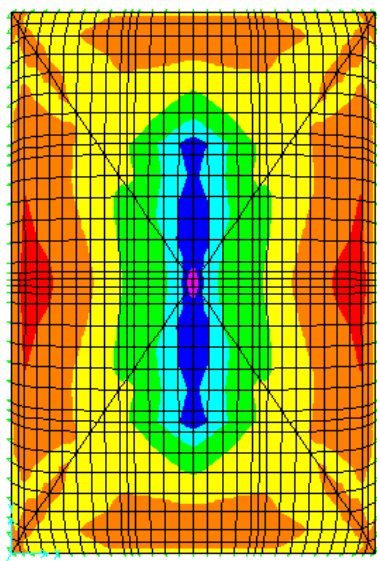


Si riportano in seguito a titolo di esempio i valori delle tensioni nella due direzioni principali S11 ed S22 nel caso dei soli carichi permanenti e nel caso di pesi propri più sisma nella direzione X.

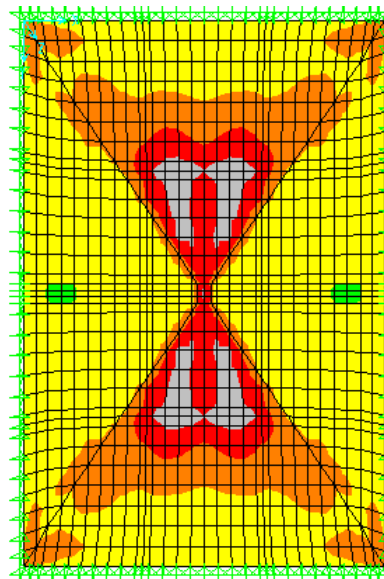
**Voltine a padiglione con frenelli
(galleria lato camposanto)
modello con FRP-pesi propri + sisma X**



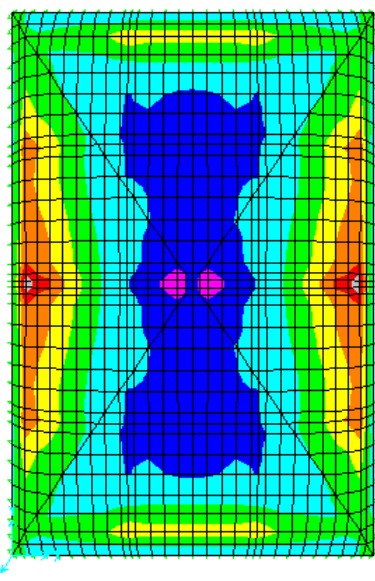
S11 estradosso (Kg/cm²)



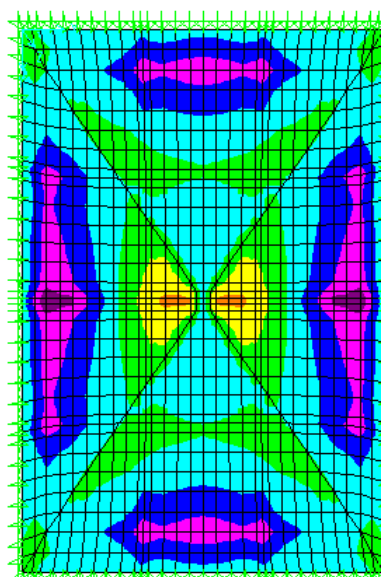
S11 intradosso (Kg/cm²)



S22 estradosso (Kg/cm²)



S22 intradosso (Kg/cm²)

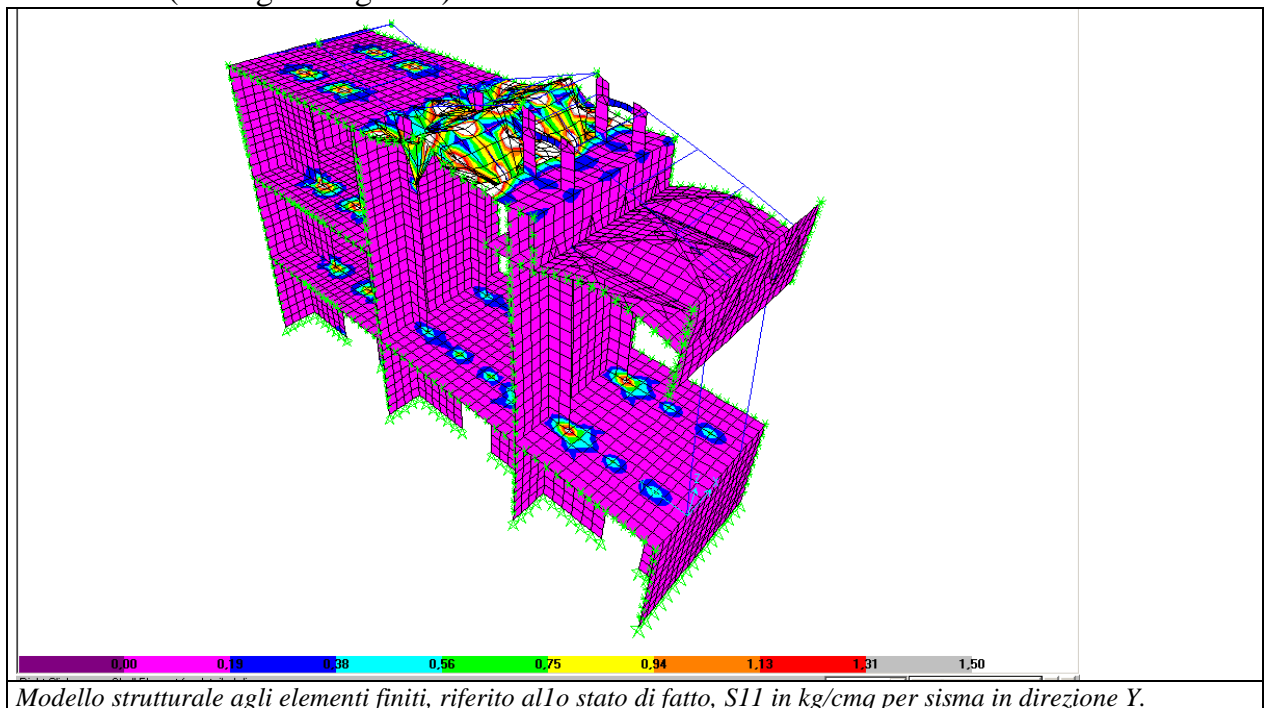


La verifica degli interventi eseguiti

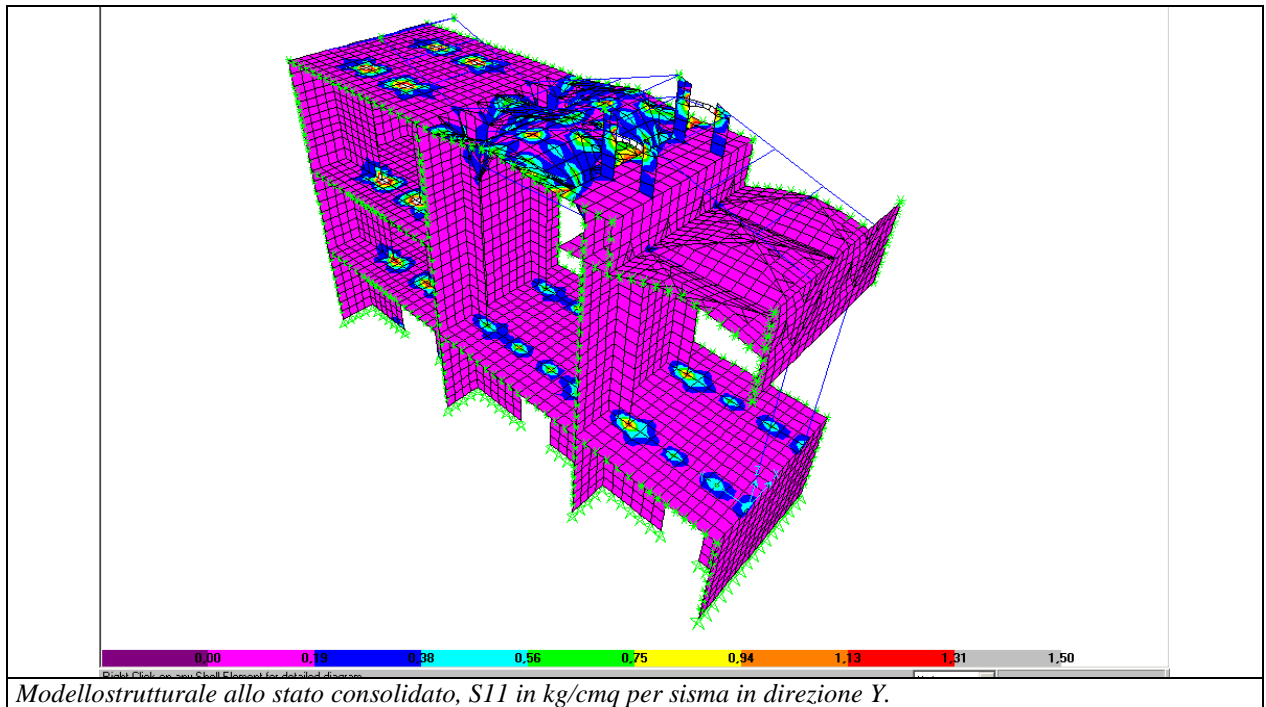
L'esame dei risultati ottenuti con l'analisi sismica su 7 sottostrutture-tipo, modellate agli elementi finiti e considerate rappresentative dell'assetto strutturale del complesso cimiteriale, evidenzia il miglioramento dei coefficienti di sicurezza ottenuto con gli interventi eseguiti. Il confronto è immediato a livello del contenimento dei valori massimi dei movimenti nodali (rotazioni e spostamenti Dmax) e della diminuzione dei massimi effetti delle azioni (S11), infatti:

Modello	T ₁ (sec)	S _{11,max} (kg/cmq)	Dmax (mm)
Mod. A1 S. F. ³	0,191	9,9	0,793
Mod. A1 Consolidato	0,158	4,95	0,289
Mod. B1 S. F.	0,209	9,9	0,861
Mod. B1 Consolidato	0,183	4,95	0,499
Mod. B4 S. F.	0,224	7,65	0,96
Mod. B4 Consolidato	0,209	4,05	0,66
Mod. C14 S. F.	0,204	10,8	0,82
Mod. C14 Consolidato	0,174	5,4	0,44
Mod. C12 S. F.	0,198	10,8	0,78
Mod. C12 Consolidato	0,169	4,95	0,41
Mod. C3 S. F.	0,199	9,9	0,8
Mod. C3 Consolidato	0,175	4,5	0,46
Mod. C1 S. F.	0,206	9,9	0,85
Mod. C1 Consolidato	0,178	5,4	0,47

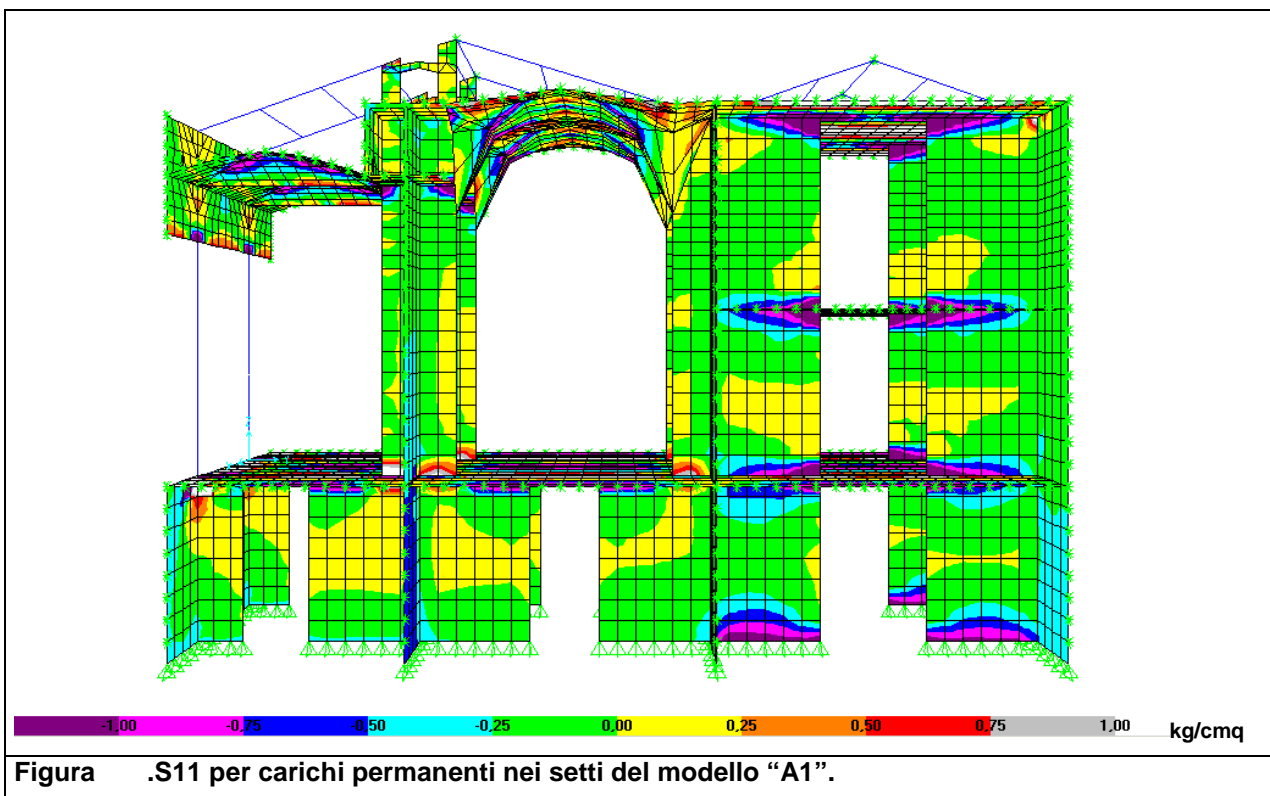
Il miglioramento locale che si ha nelle voltine a crociera in seguito all'inserimento/ripristino delle catene è notevole in termini di diffusione delle tensioni, sia all'intradosso che all'estradosso (cfr. figure seguenti).

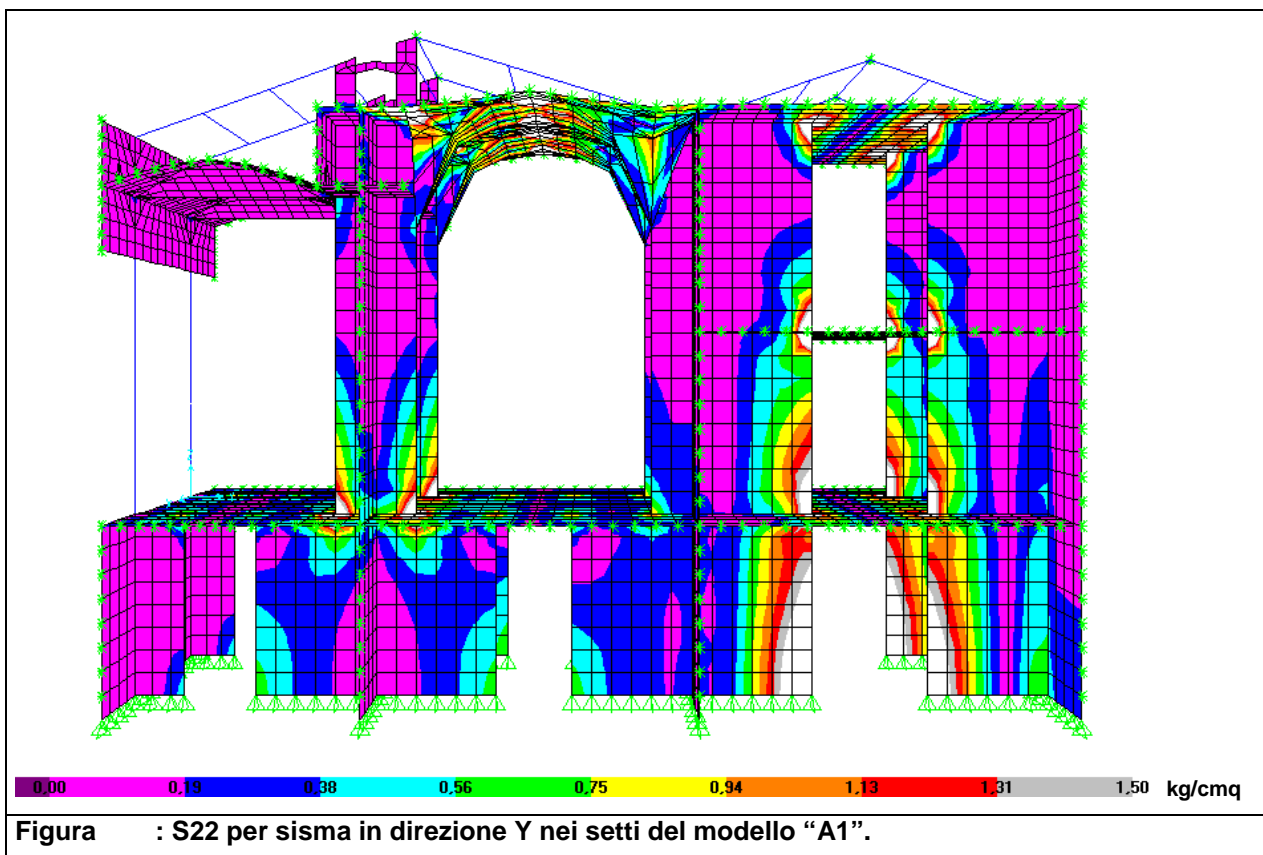
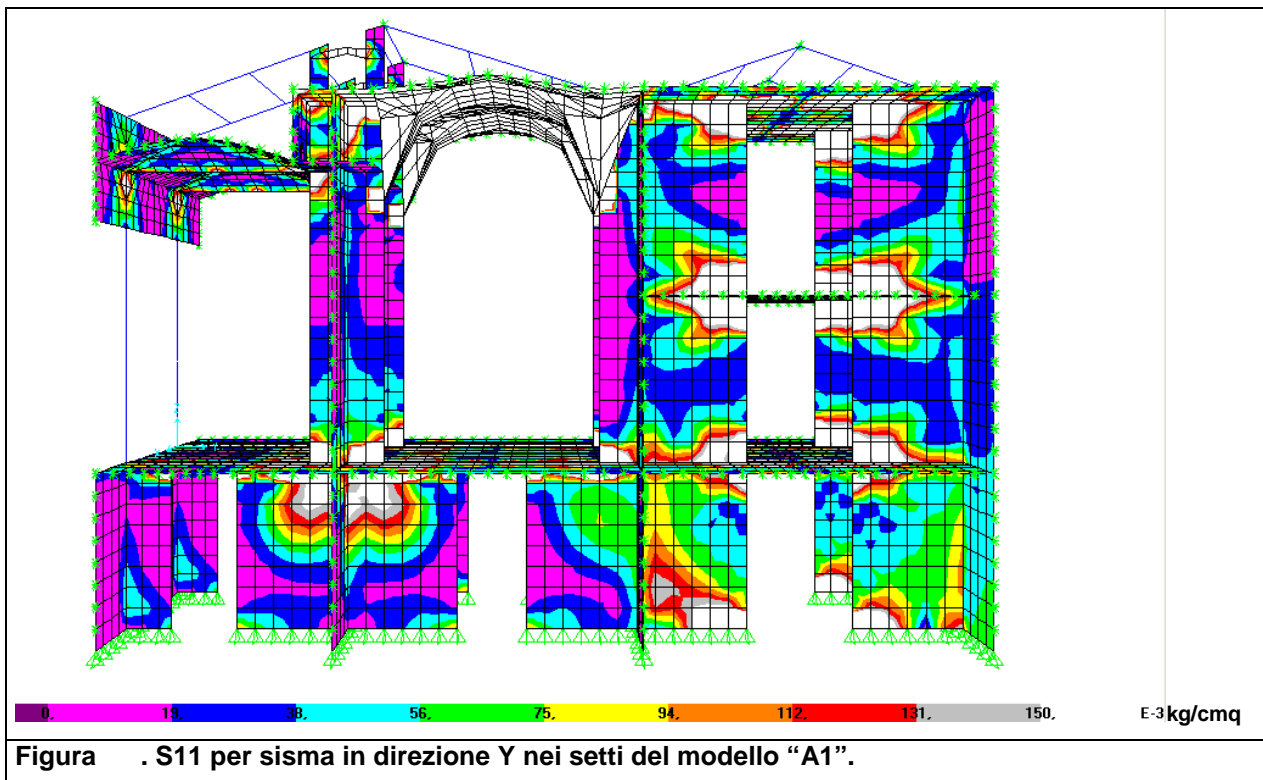


³ S.F.=Stato di fatto.



E' stato inoltre rilevato che il consolidamento delle voltine a padiglione tramite cappa in calcestruzzo rinforzato con reti polimeriche o con nastri FRP, influisce in modo trascurabile sul comportamento globale dell'edificio, mentre migliora notevolmente la loro vulnerabilità sismica e, conseguentemente, diminuisce fortemente il rischio di crollo.





La condizione di carico risultata peggiore è riferita alle voltine a crociera (galleria interna del piano rialzato) per forze sismiche perpendicolari all'asse di sviluppo delle gallerie. Questo risultato è riconducibile al fatto che le volte a crociera sono strutture che si frappongono tra zone a differente rigidità (la parte vecchia in muratura e la nuova in c.a.), per cui "soffrono" della diversa deformazione delle parti a cui sono collegate. Avendo inoltre le crociere una maggior curvatura rispetto alle volte a padiglione presentano una minor rigidità per azioni nel piano orizzontale.

Il miglioramento del comportamento globale che si ha per le porzioni dell'edificio modellate è evidenziato dalla riduzione del periodo di vibrazione e dal contenimento degli spostamenti massimi in seguito agli interventi proposti.

Commenti conclusivi

L'esperienza maturata con quanto esposto sopra è stata molto stimolante per future ricerche su strutture cimiteriali in tema sia di recupero che di conservazione dei cimiteri monumentali. È emersa la necessità, prima di tutto, di una approfondita conoscenza di questo patrimonio, che potremo definire un archivio storico inestimabile, da conservare e valorizzare. E com'è noto a tutti da tempo, conservazione vuol dire inanzitutto manutenzione programmata, non rimedio postumo al danno, che se efficacemente applicata consentirebbe risparmi anche notevolissimi sui costi d'intervento.

Senza soffermarmi su un concetto tanto dibattuto, le conflittualità emergenti attorno ai Costi Globali d'intervento, sia che si tratti di adeguamento odi miglioramento sismico, vorrei richiamare l'attenzione sull'esigenza di includere in tali costi (definiti a priori dalle direttive ministeriali e regionali) l'eliminazione delle possibili patologie in atto, come ad esemp la forte presenza di sali nei tessuti murari. In genere tali interventi vengono inquadrati come manutenzione ordinaria, ed è assai complesso definire le priorità d'intervento trascurando di intervenire sul degrado materico naturale e su difetti congeniti. Altre conflittualità potrebbero derivare dall'adeguamento di questi complessi edilizi alle norme cimiteriali più recenti. Spesso i terreni destinati alle tumulazioni non sono adeguati per la presenza di falde freatiche con livelli massimi variabili, come nel caso di S. Cataldo.

Le strutture degli impianti cimiteriali antichi non sono fornite di adeguati coefficienti di sicurezza per le azioni sismiche. Il miglioramento delle condizioni statiche viene volentieri rimandato a tempi sempre più lontani e se per chi dimora al loro interno non è molto significativo, lo è invece per i visitatori, per gli addetti ai lavori e per i valori che in essi sono custoditi, patrimonio che in molti casi merita di essere dichiarato Patrimonio dell'Umanità da parte dell'UNESCO.

Intervenire sulle strutture dopo che esse sono state colpite da sisma, è un'ottima occasione anche per prendere in considerazione il restyling architettonico, spesso del tutto ignorato.