



SAIE 2021

7 – 9 Ottobre, 2021, Bari, Italia



Ordine degli Architetti,
Pianificatori, Paesaggisti e
Conservatori della Provincia di Bari

Col patrocinio di



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO
L'Università dei due mari



ORDINE
INGEGNERI della PROVINCIA
BARLETTA
ANDRIA
TRANI

In collaborazione con



Media Partner



***Le nuove normative e Linee Guida Ministeriali per i materiali compositi innovativi FRP-FRCM-
CRM Criteri di intervento per un corretto impiego nel rinforzo strutturale ed antisismico.***

Il SuperSismaBonus.

Saie Bari

Centro Congressi - Sala 8

Venerdì 8 ottobre 2021

Ore 09.30-13.00

Consolidamento sismico di edifici di culto.

Valutazione quali-quantitativa di intervento di consolidamento locale e globale

Ing. Colapietro Domenico, Ph.D.

Dottore di Ricerca in Recupero e Conservazione Strutturale degli Edifici Storici

CFEngineering: Ingegneria Strutturale & Consulting

Gli eventi sismici verificatesi in Italia negli ultimi cento anni hanno confermato le criticità del comportamento sismico degli edifici murari a carattere monumentale, ed in particolare delle chiese.



I sopralluoghi effettuati nell'immediato post-terremoto, infatti, hanno evidenziato l'elevato grado di danneggiamento subito da tali costruzioni, che si sostanziano in collassi locali, del tipo:

Ribaltamento della Facciata

Ribaltamento del Timpano

Meccanismi nel piano della Facciata

Risposta Trasversale dell'aula



Friuli 1976



Italia Centrale 2016/17



Abruzzo 2009



Emilia Romagna 2012

Meccanismi di Taglio nelle Pareti Laterali
(risposta Longitudinale)

Risposta Longitudinale del Colonnato
nelle Chiese a più Navate

Ribaltamento delle pareti di estremità del
Transetto e dell'abside

Meccanismi di Taglio nelle Pareti Laterali
del Transetto, Presbiterio o Abside

Collasso Cella Campanaria



Irpinia 1980



Umbria Marche 1997

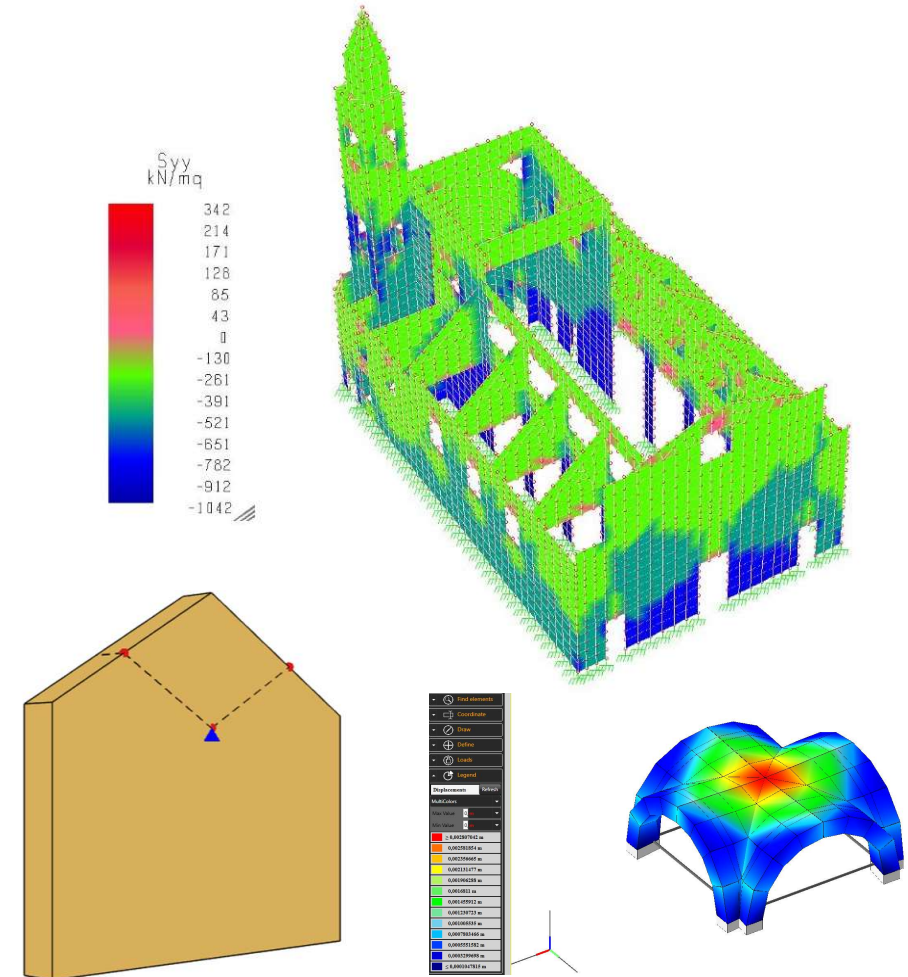


Friuli 1976




L'aquila 2009

È evidente, quindi, che la valutazione della capacità sismica di questa tipologia di edifici deve essere condotta oltre che con schemi globali (che analizzano la risposta sismica nel piano) anche e soprattutto con modelli locali che tengano conto della possibilità di ribaltamento di porzioni della struttura.



Le Norme Tecniche (§C8.7.4.1 - Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019) armonizzate con la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011- Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni- forniscono opportune tecniche di intervento, volte a ridurre carenze dei collegamenti tali da assicurare maggiori benefici nei riguardi delle azioni sismiche di un'aula liturgica, con un soddisfacente comportamento d'assieme.

- Inserimento di Tiranti Metallici
 - Cerchiature Esterne
 - Cordoli in Sommità
- 
- In Acciaio
 - In Muratura Armata
 - In legno

I cordoli in sommità in acciaio rappresentano una valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività. Essi possono essere eseguiti mediante:

- Struttura reticolare in elementi angolari e piatti metallici, posta in sommità e collegata tramite perfori armati;
- Profili metallici a C o L posti poco al di sotto della muratura e collegati alla stessa mediante ancoraggi chimici o meccanici;



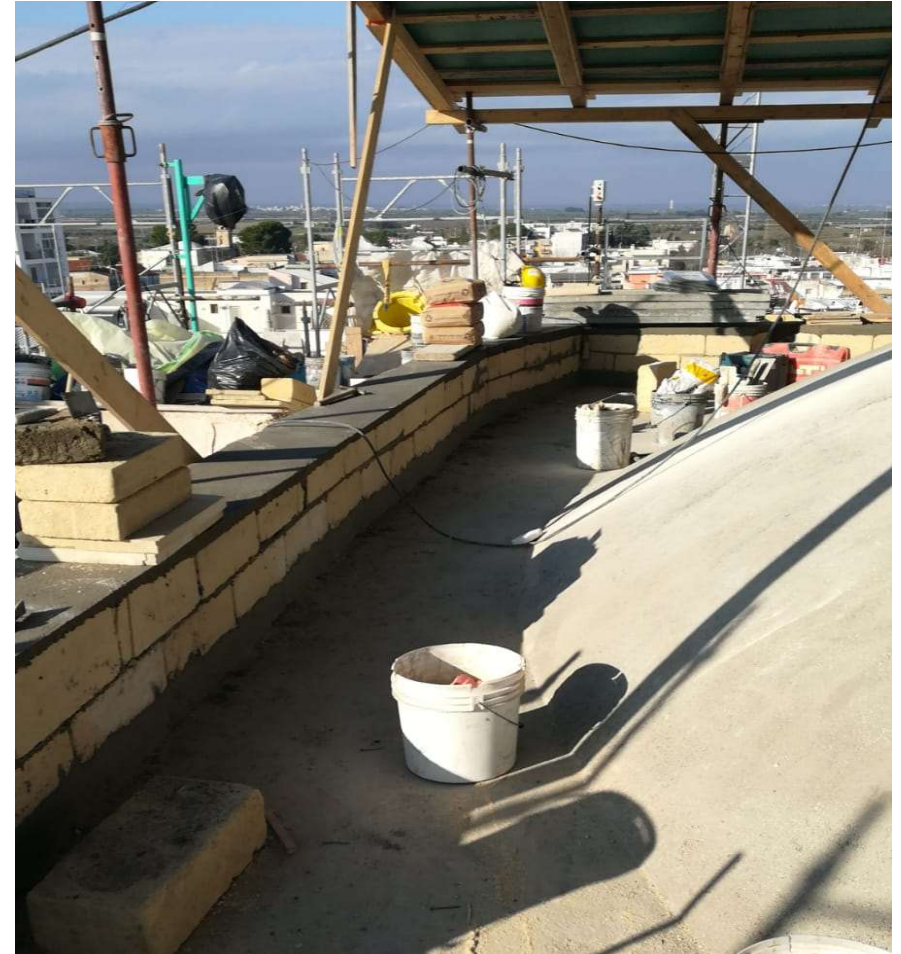
I cordoli in sommità in muratura armata consentono di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti.

- Muratura armata con Barre in Acciaio da c.a.;



I cordoli in sommità in muratura armata consentono di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione della caratteristiche murarie esistenti.

- Muratura armata con Materiale Composito - FRCM;



Il presente lavoro si propone di raffrontare due soluzioni di intervento:

- Soluzione 1: Cordolo in acciaio a struttura reticolare con moduli e piastre di giunzione, aventi spessore 5mm, del tipo S275JR;
- Soluzione 2: Cordolo in muratura armata con blocchi in pietra tenera, altezza 40cm, spessore 50cm, a corpo unico a due teste, con interposizione nei giunti a base calce, classe M15, di fibre in acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, massa 675 g/m², resistenza a trazione per unità di lunghezza pari a 2,35KN/cm, ed inserimento di barre elicoidali in acciaio inox Ø12/70cm di ancoraggio verticale a secco per 80cm;

La comparazione è condotta in termini di efficacia quantitativa mediante il rapporto capacità/domanda sismica nelle due configurazioni pre e post consolidamento:

Isv cons. > Isv precons.

da portare in debito conto a parametri qualitativi:

REVERSIBILITA'
RIDOTTA INVASIVITA'

Casi studio



Chiesa Immacolata- Adelfia

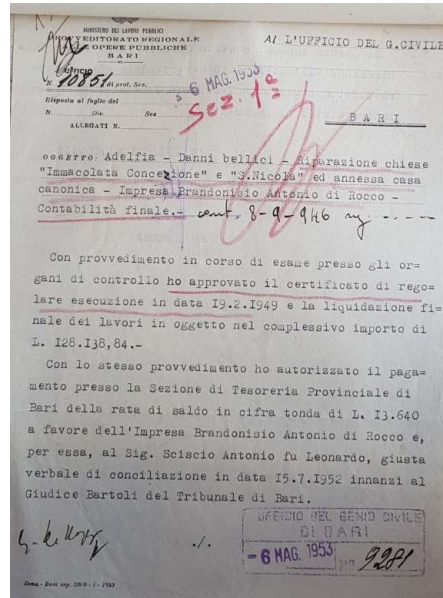
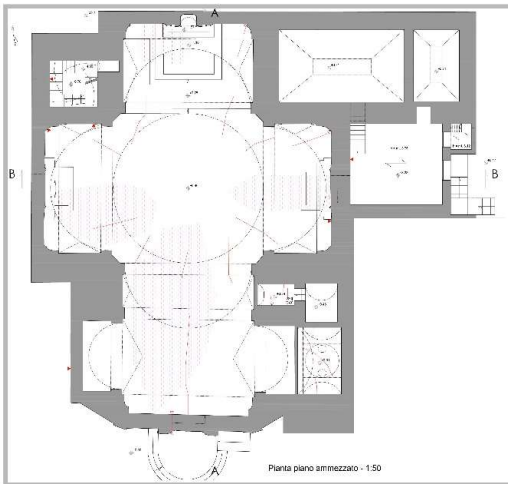


Chiesa S. Maria Annunziata- Cellamare



Chiesa S.S. Rosario – Mola di Bari

Al completamento di una approfondita indagine diagnostico conoscitivo, per ciascun edificio di culto, tale da conseguire un adeguato livello di conoscenza, si è giunti alla formulazione di opportuni modelli matematici di valutazione a macro modellazione ed elementi discreti per meccanismi locali di corpo rigido.

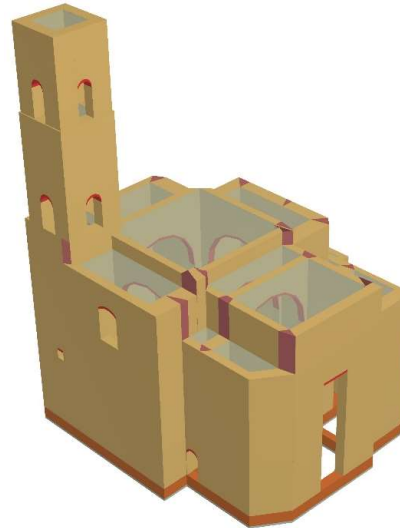
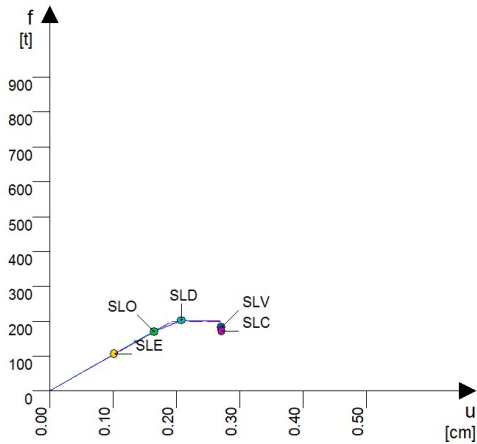
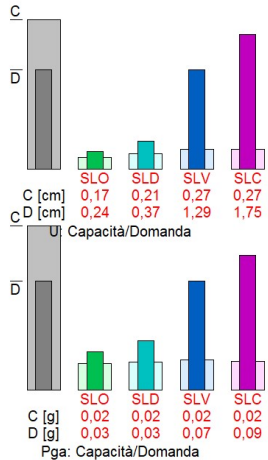


Eseguendo una analisi statica non lineare nello stato pre-consolidato, e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

Chiesa Immacolata - Adelfia

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC g	PgaD g	TrC anni	TrD anni	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,243	0,018	0,072	19	475	no
Pushover al limite di operatività	SLO	1,51	0,694	0,018	0,026	20	30	no
Pushover al limite di danno	SLD	1,95	0,567	0,019	0,033	20	50	no
Pushover al limite di s.vita	SLV	3,41	0,282	0,020	0,072	23	475	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,70	0,218	0,019	0,089	21	975	no



Valore Minimo del Fattore di
Sicurezza Sismico Locale

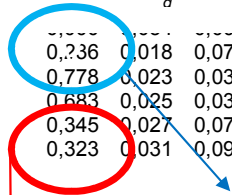
Valore Minimo del Fattore di
Sicurezza Sismico Globale

Eseguendo una analisi statica non lineare nello stato pre-consolidato, e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

Chiesa S.Maria Annunziata - Cellamare

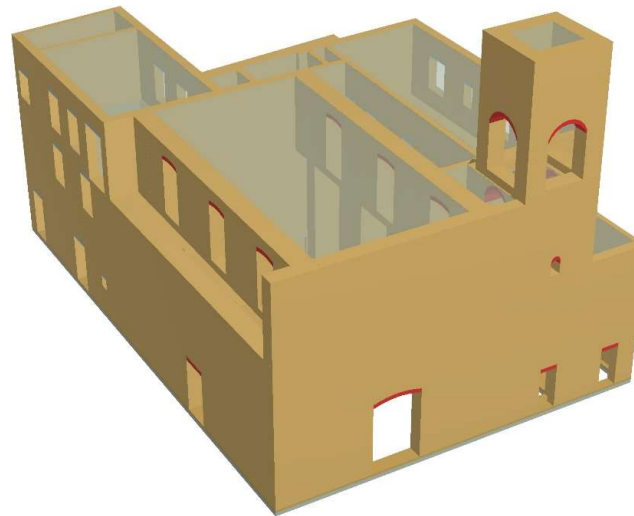
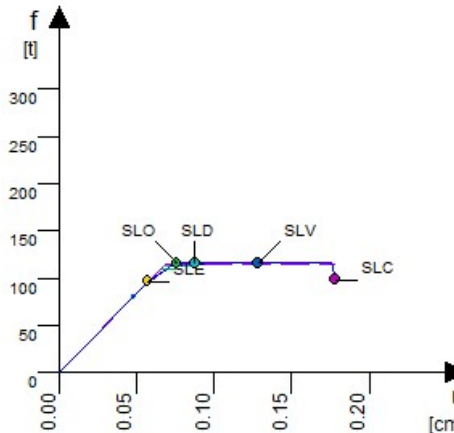
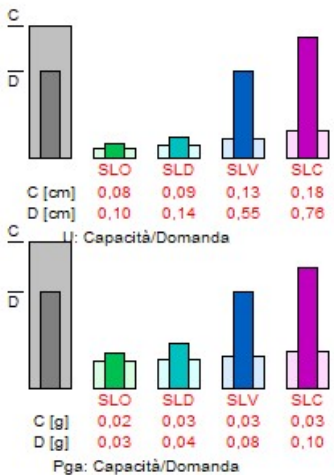
Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC _a	PgaD _a	TrC _{anni}	TrD _{anni}	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,236	0,018	0,078	21	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	1,47	0,778	0,023	0,030	27	45	no
Pushover al limite di danno	SLD	1,78	0,683	0,025	0,037	30	75	no
Pushover al limite di s.vita	SLV	3,99	0,345	0,027	0,078	32	712	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,12	0,323	0,031	0,097	47	1462	no



Valore Minimo del Fattore di Sicurezza Sismico Locale

Valore Minimo del Fattore di Sicurezza Sismico Globale



Consolidamento statico-sismico di edifici di culto. Valutazione quali-quantitativa di interventi di consolidamento locale e globale

Eseguendo una analisi statica non lineare nello stato pre-consolidato, e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

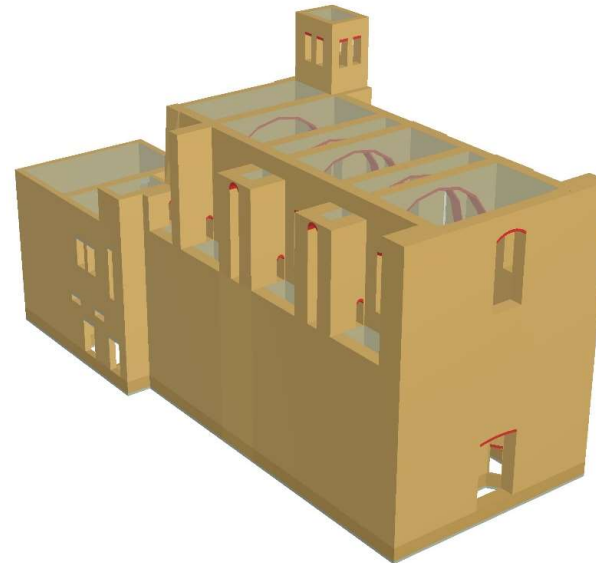
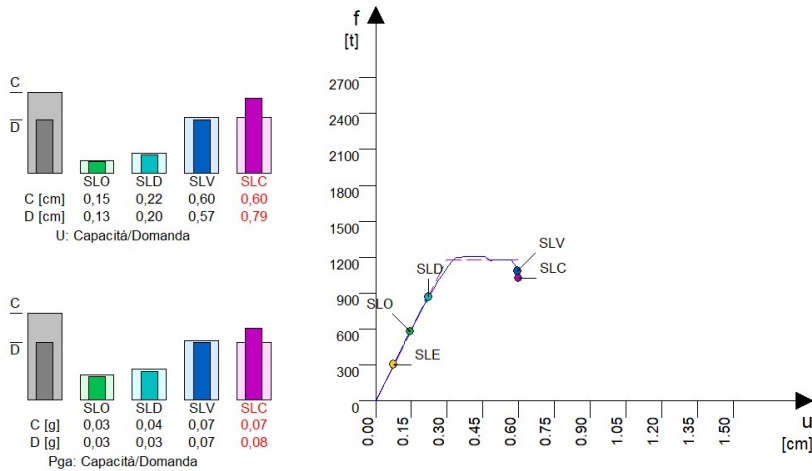
Chiesa S.S. Rosario – Mola di Bari

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC g	PgaD g	TrC anni	TrD anni	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,168	0,030	0,065	61	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	1,13	0,888	0,024	0,027	33	45	no
Pushover al limite di danno	SLD	1,08	0,938	0,031	0,033	61	75	no
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,21	0,472	0,031	0,065	61	712	no
Pushover al limite di collasso	SLC	2,81	0,372	0,030	0,081	61	1462	no

Valore Minimo del Fattore di Sicurezza Sismico Locale

Valore Minimo del Fattore di Sicurezza Sismico Globale



Consolidamento statico-sismico di edifici di culto. Valutazione quali-quantitativa di interventi di consolidamento locale e globale

Eseguendo nello stato consolidato per le due soluzioni prescelte, una analisi statica non lineare e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

Chiesa Immacolata-Adelfia

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 2,75$$

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 2,94 (+6,90\%)$$

Soluzione di Intervento 1- Cordolo Reticolare in Acciaio

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC g	PgaD g	TrC anni	TrD anni	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	1,122	0,092	0,082	975	712	si
Pushover al limite di operatività	SLO	0,62	1,669	0,053	0,032	190	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	0,61	1,784	0,068	0,038	370	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,13	0,776	0,064	0,082	309	712	no
Pushover al limite di collasso	SLC	8,19	0,487	0,050	0,103	160	1462	no

Soluzione di Intervento 2- Cordolo in Muratura Armata - FRCM

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC g	PgaD g	TrC anni	TrD anni	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,697	0,057	0,082	244	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,66	1,665	0,053	0,032	190	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	0,57	1,743	0,066	0,038	354	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	1,58	0,831	0,068	0,082	402	712	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,10	0,567	0,058	0,103	258	1462	no

Eseguendo nello stato consolidato per le due soluzioni prescelte, una analisi statica non lineare e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

**Chiesa S.Maria
Annunziata - Cellamare**

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 2,97$$

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 3,22 (+8,5\%)$$

Soluzione di Intervento 1- Cordolo Reticolare in Acciaio

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC _g	PgaD _g	TrC _{anni}	TrD _{anni}	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,258	0,020	0,078	23	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,67	1,694	0,051	0,030	188	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	0,78	1,550	0,057	0,037	272	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	1,69	1,028	0,080	0,078	818	712	si
Pushover al limite di collasso	SLC	2,19	0,821	0,080	0,097	787	1462	no

Soluzione di Intervento 2- Cordolo in Muratura Armata - FRCCM

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC _g	PgaD _g	TrC _{anni}	TrD _{anni}	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,243	0,019	0,078	21	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,42	2,901	0,087	0,030	1078	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	0,53	2,407	0,089	0,037	1110	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	1,19	1,112	0,087	0,078	1026	712	si
Pushover al limite di collasso	SLC	1,52	0,858	0,083	0,097	912	1462	no

Consolidamento statico-sismico di edifici di culto. Valutazione quali-quantitativa di interventi di consolidamento locale e globale

Eseguendo nello stato consolidato per le due soluzioni prescelte, una analisi statica non lineare e cinematica lineare, si ha globalmente e localmente il conseguimento di tali risultati:

**Chiesa S.S. Rosario –
Mola di Bari**

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 2,19$$

$$IMg = I_{sv \text{ cons.}} / I_{sv \text{ precon.}} = 2,32 (+5,93\%)$$

Soluzione di Intervento 1- Cordolo Reticolare in Acciaio

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC _g	PgaD _g	TrC _{anni}	TrD _{anni}	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,354	0,023	0,065	30	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	1,23	0,812	0,022	0,027	28	45	no
Pushover al limite di danno	SLD	1,04	0,974	0,032	0,033	72	75	no
Pushover al limite di s.vita	SLV	1,57	1,032	0,067	0,065	832	712	si
Pushover al limite di collasso	SLC	1,99	0,810	0,066	0,081	760	1462	no

Soluzione di Intervento 2- Cordolo in Muratura Armata - FRCCM

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC _g	PgaD _g	TrC _{anni}	TrD _{anni}	Esito
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,356	0,023	0,065	33	712	no
Pushover al limite di operatività	SLO	1,23	0,815	0,022	0,027	30	45	no
Pushover al limite di danno	SLD	1,04	0,979	0,032	0,033	72	75	no
Pushover al limite di s.vita	SLV	1,47	1,099	0,071	0,065	975	712	si
Pushover al limite di collasso	SLC	1,87	0,862	0,070	0,081	903	1462	no

Raffrontando le soluzioni di intervento prescelte, entrambe quantitativamente inducono un miglioramento delle condizioni sismiche del manufatto sia localmente sia globalmente:

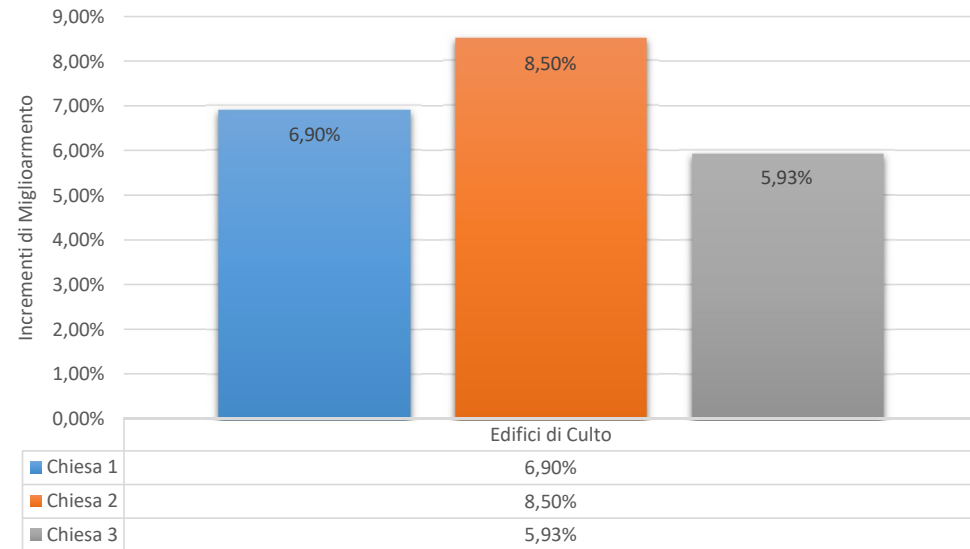
- Incrementi inferiori al 10%
- Valore medio = 7,11%
- Gradiente di Scarto = 1,29%

Reversibilità:

Soluzione 1 > Soluzione 2

Invasività

Soluzione 1 > Soluzione 2



«Ogni edificio storico, quale registro delle sue stesse variazioni – sia quelle immediatamente visibili sia quelle rilevabili strumentalmente – richiede più di qualunque altro un'attenzione alla sua conservazione; è difatti il registro dei segni dell'uomo, del suo lavoro e delle sue manipolazioni in parte ingegnose; infine è il repertorio delle trasformazioni ambientali, interferendo e talora alterando in maniera consistente la sua composizione, poiché l'ha posto a confronto con il progetto che c'era all'origine...»

Giuffré A. (1993),

Sicurezza e conservazione dei centri storici: Il caso di Ortigia



L'INNOVAZIONE NEL SISTEMA DELLE COSTRUZIONI

Grazie per l'attenzione

contatti:

d.colapietro@studiocfengineering.it

 **SAIE**
BARI 7-9 Ottobre 2021

 **OIBA**
ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari

 Ordine degli Architetti,
Pianificatori, Paisaggisti e
Conservatori della Provincia di Bari

 **G&P**
intech