

“LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL MONASTERO DI MARCENASCO IN FRAZIONE ANNUNZIATA A LA MORRA”

Ing. Massimo Reggio – Ing. Juljan Gazulli



1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il complesso denominato Monastero di San Martino di Marcenasco è localizzato in Frazione Annunziata nel Comune di La Morra (CN). Il territorio fa parte de "I Paesaggi Vitivinicoli del Piemonte: Langhe-Roero e Monferrato", iscritto nella Lista del Patrimonio Mondiale UNESCO dal 22 giugno 2014. Il complesso risale al periodo compreso tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo e fu ampliato tra il XVII e il XVIII secolo. Il fabbricato, realizzato in adiacenza alla Chiesa si trova in posizione perpendicolare alla chiesa e costituisce l'antico monastero benedettino. Nonostante le trasformazioni subite negli anni, in esso si possono ancora individuare gli usi a cui erano destinati i diversi ambienti, con una disposizione dell'edificio conventuale che rispecchia la semplicità fissata dalla regola benedettina. Il bene, di proprietà del Comune di La Morra, ospitava al piano seminterrato e in alcune sale del piano terreno il Museo "Renato Ratti" dei Vini di Alba. L'intervento di restauro pone come obiettivo prioritario la conservazione dell'edificio così come è stato realizzato e come a noi è pervenuto, rifunzionalizzandolo secondo le normative vigenti. Una volta messo in sicurezza, l'edificio è inserito in un progetto di valorizzazione attraverso funzioni e attività legate alla divulgazione del vino e alla promozione del territorio. Inoltre, come per l'origine monastica del sito, l'edificio continuerà ad avere una vocazione sociale e culturale per la comunità del luogo per eventi e spazi per degustazioni e laboratori per la ricerca sui temi ampelografici, luoghi per lo scambio di competenze e conoscenze fra operatori del settore, imprese e cittadini.

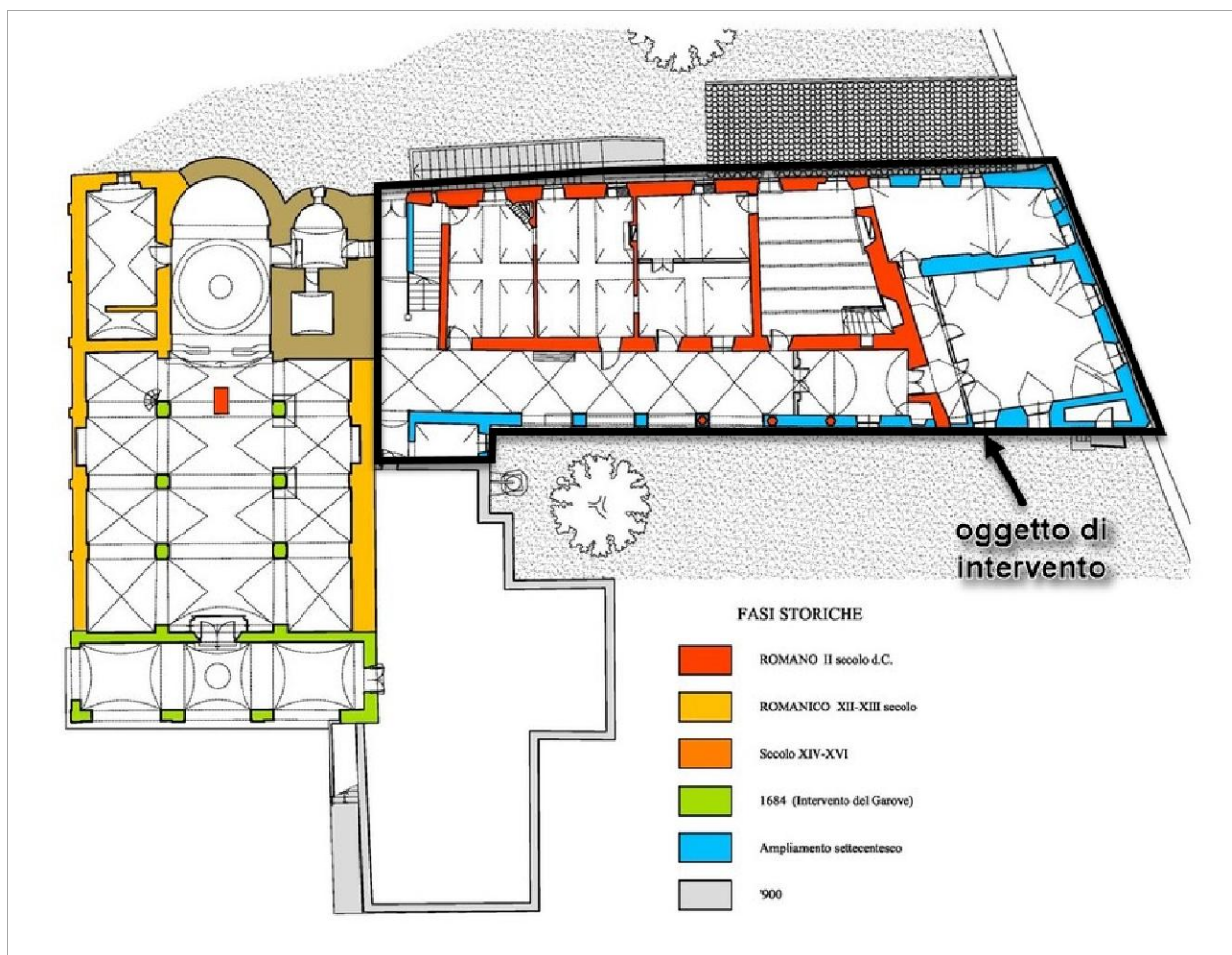


Figura 1 - Complesso Monastero di Marzenasco - Epoche costruttive - Zona di intervento



Figura 2 - Complesso Monastero di Marzenasco – Vista prima dell'intervento e particolare del porticato.

2 LA CONOSCENZA E LA VALUTAZIONE DELLE STRUTTURE ANTICHE

La conoscenza e la valutazione strutturale dell'edificio antico, finalizzata alla sua conservazione, è stata svolta attraverso tre fasi successive:

- FASE 1: FASE DI INDAGINE E COGNITIVA
- FASE 2: GIUDIZIO SUL LIVELLO DI SICUREZZA ATTUALE DELLA STRUTTURA con identificazione delle cause responsabili delle situazioni di degrado, ovvero la "diagnosi".
- FASE 3: STUDIO DEI RIMEDI e redazione del progetto di consolidamento.

3 INDAGINI CONOSCITIVE

Sono state eseguite approfondite indagini per conoscere l'impianto strutturale e tutte le caratteristiche delle componenti strutturali, dei materiali e dei particolari costruttivi, oltre che del terreno di fondazione.

- 1) analisi storica finalizzata a individuare l'evoluzione costruttiva dell'edificio;
- 2) rilievo del quadro fessurativo e del degrado finalizzato a:
 - comprendere i cinatismi, l'origine e l'evoluzione del degrado;
 - progettare i provvedimenti tecnici di intervento;
- 3) campagna di carotaggio e fori nelle murature finalizzata a:
 - identificare le stratigrafie murarie;
 - identificare tipologie e caratteristiche delle murature;
- 4) campagna di indagine sui particolari costruttivi consistente in:
 - saggi sulle volte per verificarne lo spessore;
 - saggi sulle murature per verificarne la tessitura e le connessioni tra di esse;
 - saggi sulle pavimentazioni per verificare stratigrafie dei solai, le altezze disponibili delle volte in chiave e negli appoggi, presenza e tipologia delle catene esistenti;
- 5) rilievo topografico laser delle facciate finalizzato a identificare le deformazioni e i "fuori piombo" delle murature delle facciate;
- 6) indagini sui materiali e caratterizzazione geologica e geotecnica con relativa interpretazione.



Muratura a sacco – Spessore totale **60 cm**. Stratigrafia:

- 12 cm esterno mattone pieno;
- 34 cm riempimento pietre e laterizio;
- 12 cm interno mattone pieno;
- 2 cm intonaco interno

Figura 3 – Indagini conoscitive. Esempio di carotaggio delle murature

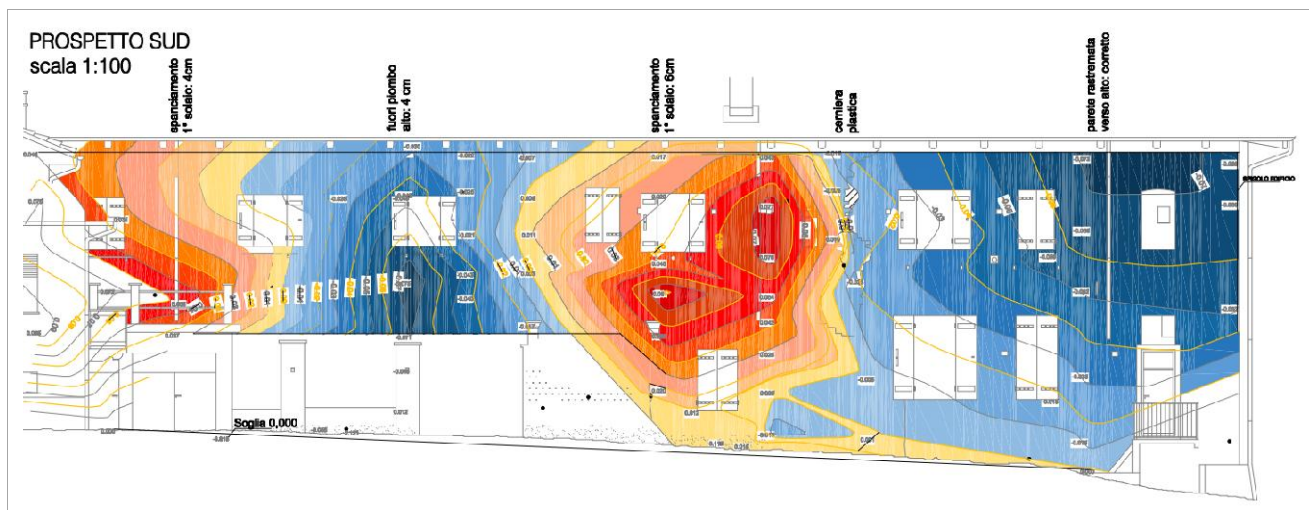


Figura 4 – Indagini conoscitive. Esempio di rilievo topografico laser delle deformazioni delle facciate

4 CLASSIFICAZIONE DELL'IMPORTANZA STRUTTURALE

La struttura è stata classificata come “edificio rilevante” ai sensi della D.G.R. 21 maggio 2014, n. 65-7656.

Sono state quindi adottate una Vita Nominale pari a **50 anni** ed una Classe d'Uso **III** che hanno portato ad una Vita di Riferimento di **75 anni**.

5 CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO

Ai sensi del par. §8.4 delle NTC 2018, l'intervento è stato inquadrato come intervento di miglioramento: “per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”, è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.”

Definito ζ il rapporto tra il valore massimo delle azioni sopportabili dalla costruzione e il valore delle azioni che si utilizzerebbero nel progetto di una nuova costruzione, conformemente a quanto definito dalle norme, il miglioramento è conseguibile raggiungendo i seguenti indici di vulnerabilità sismica in termini di accelerazione:

- $\zeta_E = 0,6$ per edifici esistenti;
- $\zeta_E = 0,4$ per edifici esistenti con vincolo di bene culturale.

Pertanto, l'obiettivo progettuale è il raggiungimento di un livello minimo di $\zeta_E = 0,4$.

6 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Sulla base delle informazioni raccolte nelle fasi di ricerca documentale e indagini conoscitive della geometria e dei materiali, si è ipotizzato di aver raggiunto un Livello di Conoscenza **LC1** a cui corrisponde un Fattore di Confidenza **FC=1.35**.

7 TIPOLOGIE DI MATERIALI

A seguito delle indagini conoscitive sulle strutture sono state identificate tre tipologie di **muratura**:

- muratura a sacco;
- muratura in pietre a spacco di buona tessitura;



- muratura in mattoni pieni e malta di calce.

Per le tre tipologie di murature si sono assunti i valori inferiori di intervallo suggeriti dalle norme, cautelativi qui di seguito sintetizzate:

- muratura a sacco
 - Resistenza a compressione $f_m = 1.0 \text{ MPa}$
 - Resistenza a compressione orizzontale $f_{mh} = 0.5 \text{ MPa}$
 - Resistenza a taglio di progetto $\tau_0 = 0.02 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale $E = 700 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale fessurato $E_{fess} = 350 \text{ MPa}$
- muratura piena in mattoni
 - Resistenza a compressione $f_m = 3.0 \text{ MPa}$
 - Resistenza a compressione orizzontale $f_{mh} = 1.5 \text{ MPa}$
 - Resistenza a taglio di progetto $\tau_0 = 0.08 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale, $E = 1200 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale fessurato $E_{fess} = 600 \text{ MPa}$
- muratura mista mattoni e pietra
 - Resistenza a compressione $f_m = 2.6 \text{ MPa}$
 - Resistenza a compressione orizzontale $f_{mh} = 1.3 \text{ MPa}$
 - Resistenza a taglio di progetto $\tau_0 = 0.06 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale, $E = 1500 \text{ MPa}$
 - Modulo di elasticità normale fessurato $E_{fess} = 750 \text{ MPa}$

A questi valori si è applicata la riduzione legata al Fattore di Confidenza, dividendo per il coefficiente:

$$F_c = 1,35$$

Questa riduzione viene eseguita automaticamente dal software impostando il valore di F_c .

Le **catene esistenti** NON sono state considerate come efficaci. La deformazione marcata delle facciate ha suggerito questo approccio che è poi stato confermato in fase di cantiere.

Per quanto riguarda gli spessori di **murature** e **volte** sono stati indagati in modo approfondito: sono stati eseguiti i carotaggi di tutte le murature e il sondaggio di tutte le volte a intradosso con rilievo della natura e misura dei riempimenti. Il materiale di riempimento delle volte è maceria con un peso specifico stimato di 18 kN/m^3 .



8 CRITICITA RISCONTRATE

L'edificio è affetto da una seria anomalia strutturale, presente sin dalla fase di costruzione, che consiste nella disposizione di murature portanti che gravano in falso sulle volte del piano sottostante, tanto al piano terra quanto al piano primo (vedere Figura 5). Questa è una delle principali cause del degrado strutturale dell'immobile: questo impianto costruttivo ha comportato sollecitazioni "puntuali" molto elevate sulle volte che, unite alla carenza di catene, hanno provocato gravi deformazioni delle facciate e perdita di forma e di portanza delle volte.

Nella figura sottostante la freccia in verde identifica la muratura in falso sulla volta, quella in rosso la direzione dei cedimenti strutturali che si sono verificati: il ribaltamento delle facciate verso l'esterno di

alcuni centimetri ha innescato il cedimento degli archi e delle volte. Tale condizione ha generato un quadro fessurativo diffuso e rilevante, tale da compromettere totalmente la sicurezza statica dell'edificio.

Ulteriori carenze strutturali vanno evidenziate nella scarsa qualità delle murature portanti verticali "a sacco", la diffusa mancanza di connessione tra le murature perpendicolari, i quadri fessurativi diffusi che innescano meccanismi locali di instabilità.

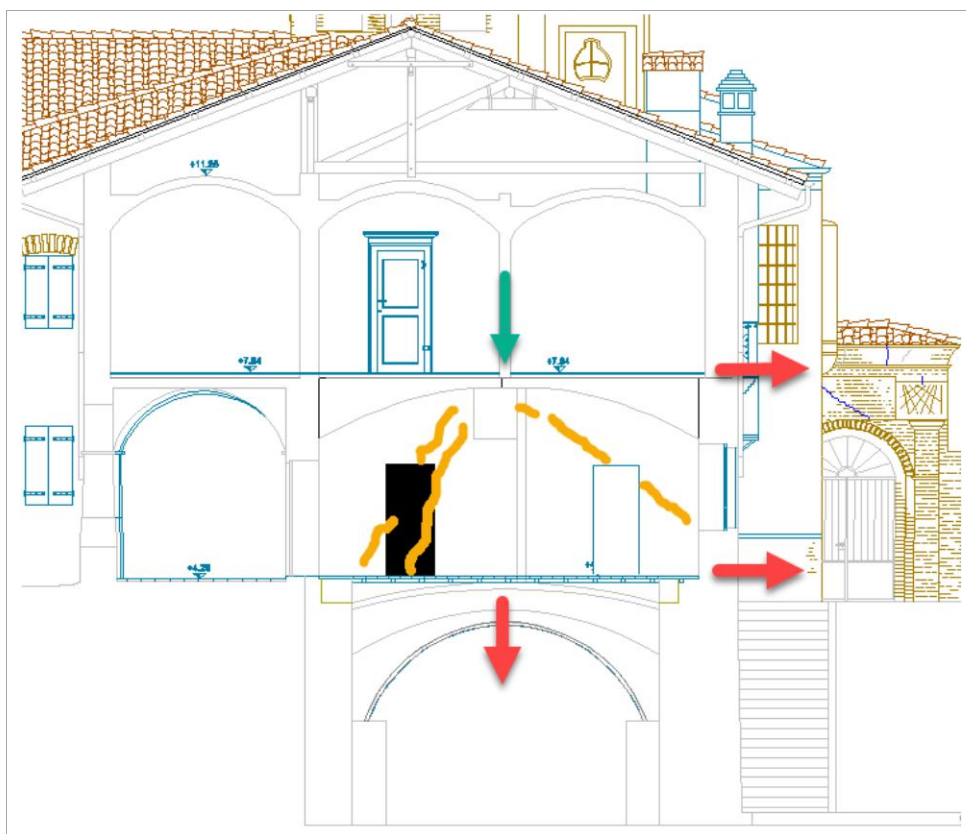


Figura 5 – Criticità riscontrate. Pareti appoggiate "in falso" sulle volte sottostanti.



Figura 6 – Criticità riscontrate. Pareti appoggiate "in falso" sulle volte sottostanti. Lesioni sulla parete correlabili alla deformazione della volta di appoggio.



Figura 7 –Carenze costruttive: a) mancanza di adeguato ammorsamento delle murature; b) Voltini incoerenti



Figura 8 – Deformazione della facciata e conseguenti fessurazioni nelle volte, pareti e pavimenti

9 LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

Il monastero di San Martino di Marzenasco ha una distribuzione planimetrica ad “L” in cui una parte è occupata dalla parrocchia non oggetto d’intervento. Pur non essendo oggetto di intervento il corpo della Chiesa è connesso a quello del Monastero e, pertanto, nello studio della sicurezza sismica il modello di calcolo è stato costruito per l’intero complesso.

In seguito alle indagini e rilievi è stato possibile risalire all’impianto originario e all’evoluzione storica dello stesso. E’ emerso che il corpo originario del fabbricato risale circa al XII-XIII secolo, in epoca Romanica e in seguito vi è stato un importante ampliamento in epoca Barocca nel XVII-XVIII secolo, leggibile sia dal punto di vista architettonico sia dal punto di vista strutturale.

Il sistema costruttivo è di tipo a muratura portante, prevalentemente con tipologia “a sacco” e, in alcuni punti, in mattoni pieni o mista in mattoni / pietra con spessori variabili.



Gli orizzontamenti del piano interrato sono costituiti da strutture voltate in muratura, così come al piano terra e al piano primo ad eccezione di un locale con solaio in travi metalliche e voltine, oggetto di ricostruzione.

La copertura in legno poggia sui muri perimetrali.

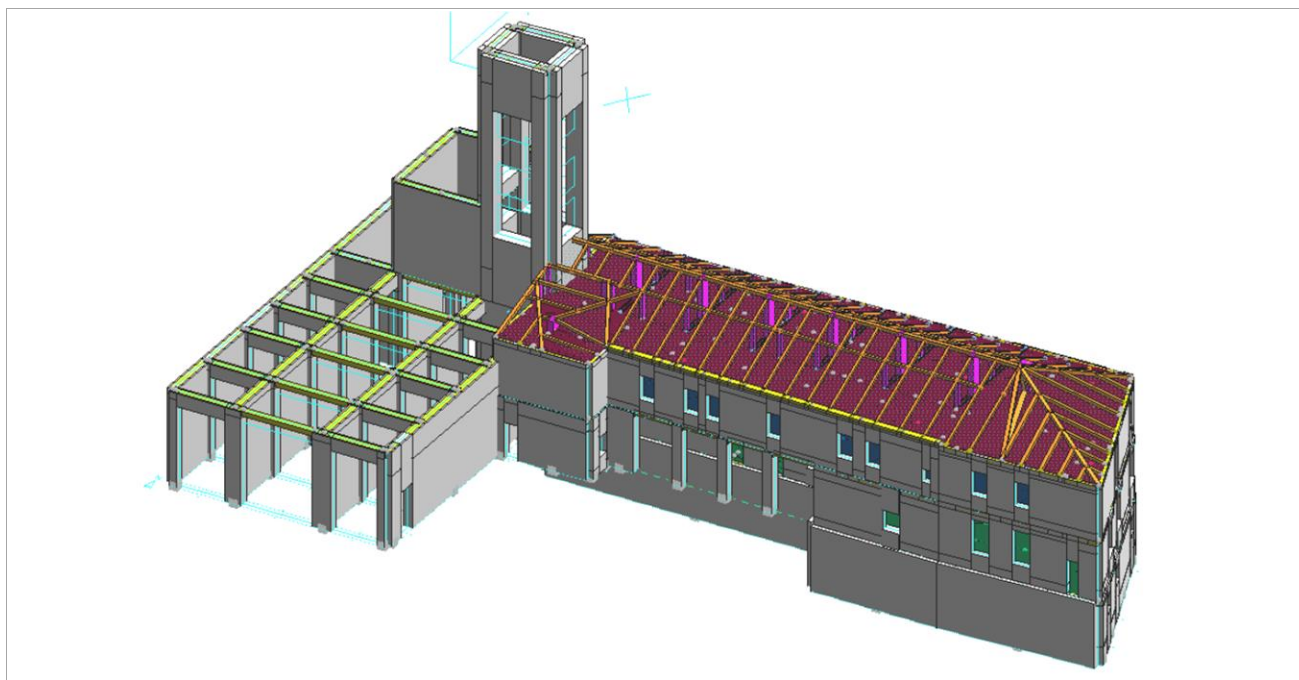


Figura 9 – Modello strutturale. Vista 3D con ingombri solidi.

10 MODELLO STRUTTURALE ANTE OPERAM

Il modello è stato costruito in modo fedele alla realtà. Infatti, il carotaggio esteso di tutte le murature ha consentito di applicare ai diversi setti murari (“interpiani” nel software) gli effettivi spessori e le caratteristiche meccaniche delle tre tipologie murarie individuate.

L’analisi estesa ha permesso di determinare gli spessori e i materiali di riempimento al di sopra delle volte, consentendo l’applicazione dei carichi effettivi.

Le catene esistenti NON sono state considerate come efficaci e quindi non sono state prese in conto nel modello di calcolo; quindi, sono stati inseriti nel modello i carichi orizzontali derivanti dalle spinte delle volte. Questi carichi incidono negativamente specie sulla vulnerabilità sismica e sull’innesco dei cosiddetti “meccanismi locali”. La deformazione marcata delle facciate ha suggerito questo approccio che poi è stato confermato in fase di cantiere con la constatazione della totale inefficacia delle catene esistenti.



Figura 10 – Catene inefficaci ad estradosso volte

Per quanto riguarda la chiesa, non oggetto di intervento, è stata modellata in modo corretto dal punto di vista delle rigidezze, e quindi spessori delle murature e dislocazione delle aperture, ma senza approfondire le tipologie murarie, dettagli costruttivi, catene, ecc; il modello di tale parte, meno dettagliato, ha quindi lo scopo di tenere conto delle interazioni con la parte oggetto di studio, badando soprattutto ad inserire le rigidezze il più possibile verosimili, utili allo studio dell'**aggregato strutturale**.

11 LIVELLO DI SICUREZZA ANTE OPERAM

Il modello di calcolo generale e le valutazioni dei meccanismi locali hanno restituito un livello di sicurezza attuale, con un indice di vulnerabilità sismica, in termini di accelerazione, pari a:

$$\zeta_E = 0,0.$$

Per quanto riguarda la sicurezza nei confronti dei carichi verticali la condizione ante operam delle volte e la deformazione delle facciate, ha determinato un livello di sicurezza utile per la sola manutenzione:

$$\zeta_V = 0,2.$$



Figura 11 – Stima Livello di Sicurezza Sismico ante operam.

12 INTERVENTI STRUTTURALI IN PROGETTO

Il progetto è stato redatto con specifico riferimento alle «*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni*», e in particolare con riferimento al «miglioramento» e pertanto al capitolo 6 delle stesse Linee Guida.

I criteri di progetto possono essere così sintetizzati:

- 1) obiettivo principale è sempre la conservazione non solo della materia ma anche del funzionamento strutturale; le tecniche d'intervento devono privilegiare la conservazione rispetto alla sostituzione;
- 2) il progetto deve garantire la conservazione dell'architettura in tutte le sue declinazioni, in particolare valutando l'eventuale interferenza con gli apparati decorativi;
- 3) gli interventi devono integrarsi con la struttura esistente senza trasformarla radicalmente.

La strategia del progetto e la tipologia degli interventi possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

- a) eliminazione delle sollecitazioni anomale dovute alle murature in falso sulle volte mediante strutture metalliche che sosterranno queste murature, facendo confluire i carichi sulle murature principali;
- b) contenimento delle spinte delle volte sui muri esterni con inserimento di tiranti metallici per bloccare le deformazioni delle facciate, che vengono "cristallizzate" nella situazione attuale;
- c) incrementare la capacità portante di tutte le murature dove confluiscono le strutture metalliche di cui al punto a) e le piastre di testa dei tiranti di cui al punto b), per mezzo di riparazioni "cuci e scuci", iniezioni di malta di calce e inserimento di diatoni in grado di collegare i paramenti esterni della muratura "a sacco";
- d) migliorare tutti i collegamenti tra le murature ortogonali mediante l'inserimento di barre metalliche con iniezione di malta di calce strutturale e/o resina;
- e) migliorare il comportamento delle volte del piano interrato e del piano terra con riqualificazione mediante fibre metalliche in matrice di malta di calce (FRCM), con connessioni diffuse con le murature perimetrali;
- f) riqualificazione strutturale del tetto in legno mediante la realizzazione di connessioni con viti metalliche e inserimento di elementi lignei di rinforzo per le travi con sezioni non adeguate.

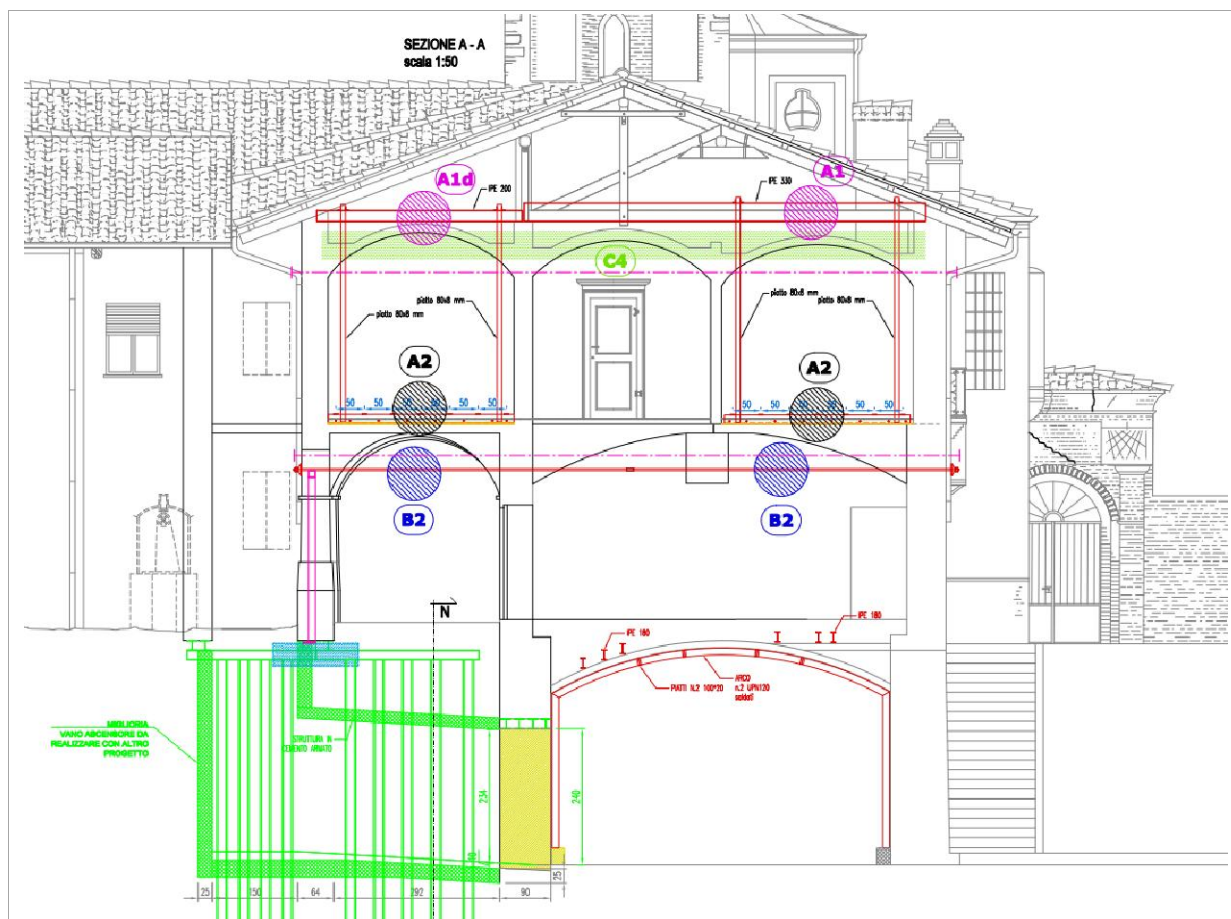


Figura 12 – Interventi strutturali in progetto: sezione.

Prima dell'esecuzione dei lavori di consolidamento sono state eseguite le puntellazioni e soprattutto la posa di diffusi tiranti provvisionali ai due livelli.



Figura 13 – Tiranti provvisionali



Figura 14 – Eliminazione delle sollecitazioni anomale dovute alle murature in falso sulle volte.



Figura 15 – Archi di contrasto al piano seminterrato



Figura 16 – Contenimento delle spinte delle volte con inserimento di tiranti metallici.

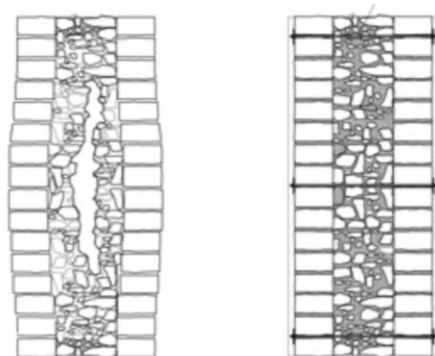


Figura 17 – Incremento della capacità portante delle murature mediante iniezioni di malta di calce e inserimento di diatoni per collegare i paramenti esterni della muratura “a sacco”.

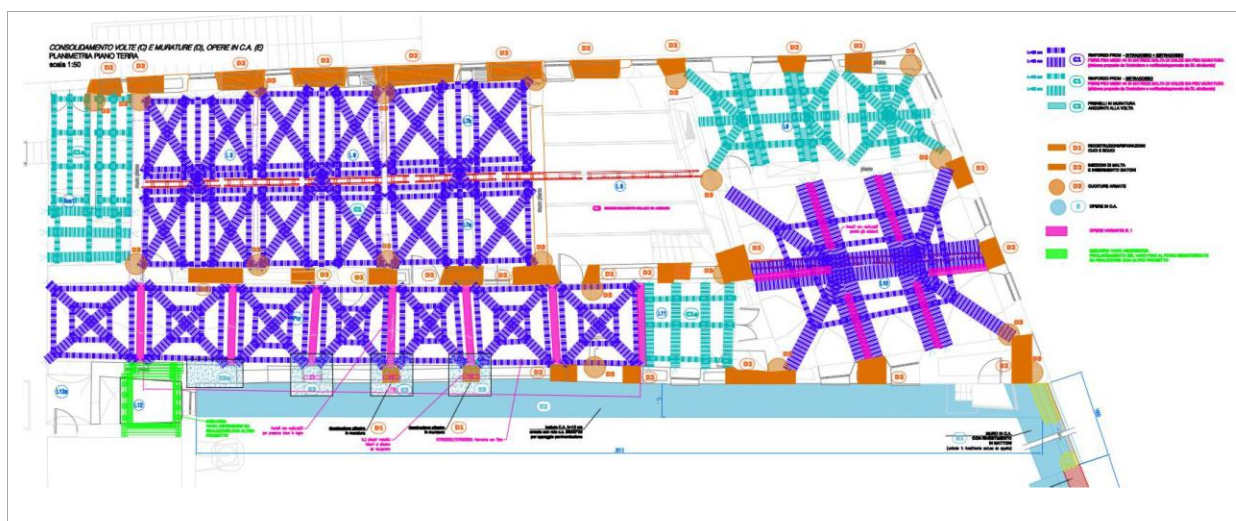


Figura 18 – Riquilificazione volte del piano interrato e del piano terra mediante fibre in matrice di malta (FRCM)



Figura 19 – Rinforzo volte in muratura mediante fibre in matrice di malta (FRCM). Vista estradosso.



Figura 20 – Rinforzo volte in muratura mediante fibre in matrice di malta (FRCM). Vista intradosso.



Figura 21 – Riparazione murature con tecnica «cuci e scuci».



Figura 22 – Recupero murature con tecnica «cuci e scuci» e inserimento elementi metallici.

13 SCHEMATIZZAZIONE E MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA POST OPERAM

Il modello post-operam è stato costruito a partire dal modello iniziale operando le seguenti modifiche:

- sono state eliminate le azioni orizzontali dovute alle spinte delle volte simulando così l'effetto delle catene progettate; le catene hanno anche la funzione di evitare i meccanismi locali;
- sono state migliorate le caratteristiche di quei maschi murari che sono stati consolidati mediante diatoni metallici e iniezioni di malta;
- sono stati ridotti i carichi dei riempimenti delle volte in quanto in progetto è stato previsto l'uso di materiale alleggerito.

14 LIVELLO DI SICUREZZA POST OPERAM

L'insieme degli interventi strutturali in progetto, hanno permesso di stimare il raggiungimento di un **livello di sicurezza sismico post-operam**, in termini di accelerazione a SLU, pari a:

$$\zeta_E = 0,5$$

Nei confronti dei **carichi verticali** il progetto garantisce la sicurezza statica nel rispetto dei sovraccarichi richiesti dalle norme in relazione alla destinazione d'uso:

$$\zeta_V = 1$$

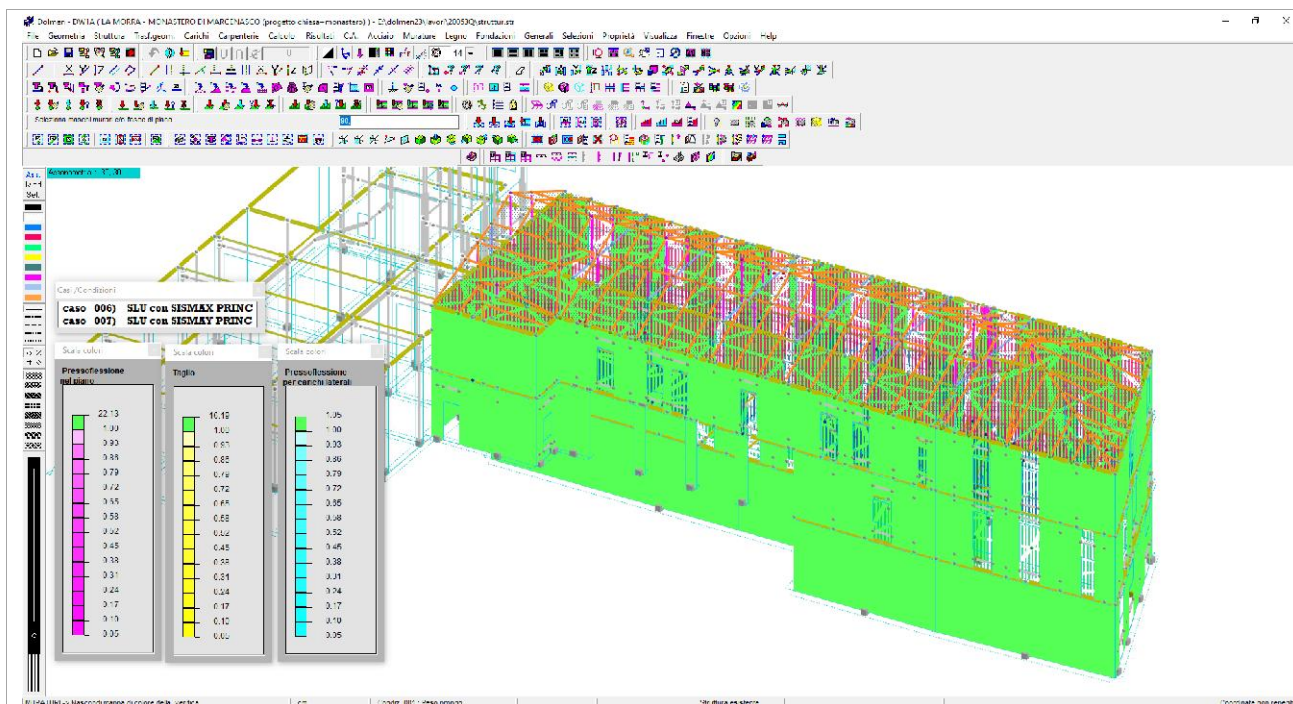


Figura 23 –Esempio di visualizzazione delle verifiche dei maschi murari sulla porzione di fabbricato oggetto di intervento (pressoflessione nel piano, taglio e pressoflessione fuori piano).

Si riportano di seguito altre verifiche di dettaglio con riferimento alla situazione post operam.

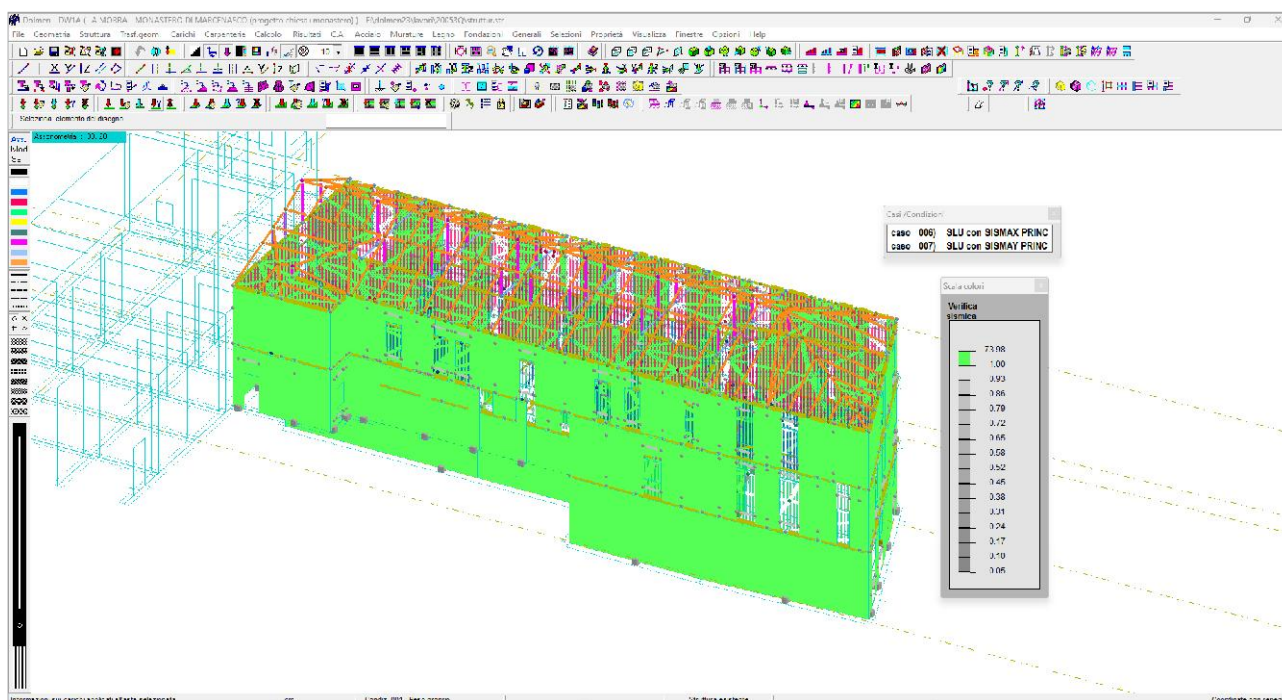


Figura 24 –Esempio di visualizzazione delle verifiche dei maschi murari (sismica fuori piano).

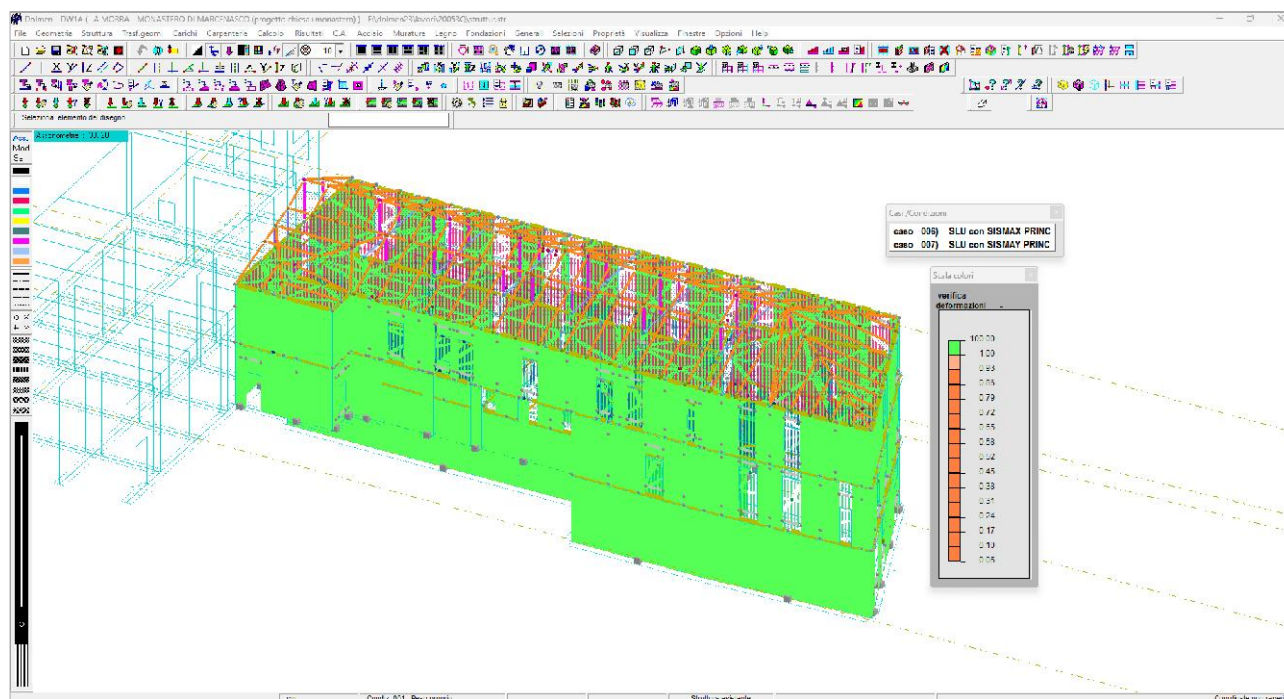


Figura 25 –Esempio di visualizzazione delle verifiche dei maschi murari (deformazioni angolari).

15 PROVA DI CARICO FINALE

Al termine dei lavori strutturali è stata eseguita una prova di carico al fine di valutare l'efficacia degli interventi. Dal momento che i muri del piano terra che sostengono le volte soprastanti poggiano sulla volta sottostante (rinforzata con gli archi metallici), è stata eseguita una prova simultanea, ovvero applicando i carichi sui due piani.

La prova è stata effettuata applicando i seguenti carichi distribuiti:

- PIANO PRIMO: 300 kg/mq
- PIANO TERRA: 500 kg/mq

Il carico è stato applicato in due fasi. E' stato dapprima caricato il piano primo e misurate le deformazioni della volta del piano terra che quella del seminterrato. Successivamente è stato caricato il piano terra e sono state rilevate le deformazioni della volta del piano seminterrato.

Le deformazioni massime al piano interrato sono risultate dell'ordine di 4/10 di mm, inferiori a quelli teorici di calcolo per la presenza delle catene e archi metallici.



Figura 26 – Prova di carico finale.

16 CONCLUSIONI

Nell'affrontare il progetto di consolidamento l'aspetto fondamentale è senza dubbio la **conoscenza approfondita** del bene: dalla sua "storia" ed evoluzione costruttiva, all'interpretazione dell'apparato strutturale, degli eventuali cinatismi e riparazioni che ha subito nel tempo, alla conoscenza delle caratteristiche ed efficacia dei materiali e degli elementi costituenti, e l'individuazione delle criticità. Il bene architettonico lo si scopre "un pezzo alla volta", con saggi, rilievi e con pazienti e prolungate osservazioni, che spesso sono complicate per i tempi stretti richiesti per il progetto.

Inoltre è quanto mai opportuno, laddove compatibile con il livello di sicurezza ottenibile, operare alterando in minima misura sia le rigidità degli elementi portanti, sia il funzionamento dell'impianto strutturale, privilegiando la conservazione rispetto alla sostituzione.

Il software Dolmen è stato poi indispensabile per lo studio complessivo dell'edificio, che in questo caso è in "aggregato" con l'edificio della chiesa, consentendo approfondite valutazioni sia dal punto di vista **sismico** che **statico**. E' stato inoltre possibile lo studio dei **cinatismi locali**, lo studio delle **volte** e dei **rinforzi metallici** come strutture secondarie, con modelli specifici a sé stanti e con i diversi moduli di verifica per le strutture metalliche e in legno.

Seguono alcune immagini a lavori eseguiti.



Committente: **Comune di La Morra**

Progetto e DL Architettura: **Arch. Luca Sensibile**, Alba

Progetto e DL Strutturale: **Ing. Massimo Reggio**, Studio Reggio – Alba

Progetto e DL Impianti: **Ing. Roberto Mamino**, Studio Gemme – Bra

Coordinatore per la sicurezza: **Ing. Juljan Gazulli** – Bra

Opere di Restauro: **Marie Helene Cully**

Soprintendenza SABAP Piemonte: **Arch. Simona Borla**

Impresa esecutrice: ATI **Rabbone Costruzioni**, Carmagnola - **Marengo Impianti**, Alba

Importo progetto: **€ 2'016'000** (finanziato Regione Piemonte, Fondazione CRC, Comune di La Morra, Cantina Ratti)

Cantiere: **2021-2023**









Sommario

1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	1
2	LA CONOSCENZA E LA VALUTAZIONE DELLE STRUTTURE ANTICHE.....	3
3	INDAGINI CONOSCITIVE	3
4	CLASSIFICAZIONE DELL'IMPORTANZA STRUTTURALE.....	4
5	CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO	4
6	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA.....	4
7	TIPOLOGIE DI MATERIALI.....	4
8	CRITICITA RISCONTRATE.....	5
9	LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE	7
10	MODELLO STRUTTURALE ANTE OPERAM.....	8
11	LIVELLO DI SICUREZZA ANTE OPERAM	9
12	INTERVENTI STRUTTURALI IN PROGETTO.....	9
13	SCHEMATIZZAZIONE E MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA POST OPERAM	15
14	LIVELLO DI SICUREZZA POST OPERAM	16
15	PROVA DI CARICO FINALE.....	17
16	CONCLUSIONI.....	18