

RELAZIONE
EDIFICIO STORICO
SANT'ELIA A PIANISI (CB)
Zona A

Proprietaria Marchitto Maria Pia



Materiale divulgato dall'architetto Pietro Circillo
OAPPC-CB

Aprile 2021

Sommario

Introduzione	2
I. L'immobile sottoposto a esame	
II. Il sistema borgo	
1. Valutazione storico-architettonica dell'immobile	3-9
a. Attività tellurica e metodi convenevoli	
b. Conclusioni	
2. Grafica e schema costruttivo dell'immobile	9-18
a. Modello di confronto dell'apparato murario portante	
b. Modello sotto esame	
c. Rilievo delle piante e degli alzati dell'unità strutturale	
d. Schema statico	
3. Valutazione sismica dell'immobile	19-21
a. Indagine visiva	
b. Accorgimenti pratici per l'analisi	
c. Analisi sismica in base alla normativa vigente	
c.1 breve analisi statica	
c.2 introduzione ai dati di analisi sismica (→ All.AS)	
c.3 Grafica aggiuntiva	
4. Linee Guida della Regione Molise	22-24
5. Interventi migliorativi	24-25
Bibliografia	26

Introduzione

L'analisi verte su un immobile situato nel centro storico di Sant'Elia a Pianisi (zona A), in provincia di Campobasso. L'edificio appartiene a un variegato sistema costruttivo.

i- L'immobile sottoposto ad esame

L'immobile in oggetto si estende su tre particelle, n.642, 652, 1519 (foglio di mappa n.55), diviso in due unità tipologiche. Un corpo di fabbrica aggrega le particelle 1519 e 642, generando dei locali di categoria catastale C/2. L'altro corpo, a quota maggiore, collega le particelle 642 e 652, formando un'unità abitativa di categoria A/4.

ii- Il sistema borgo

L'origine del nome di Sant'Elia a Pianisi risale alla metà del 1800 (R.D. 26 marzo 1863, n.1218), il suo impianto urbano ha conservato sin dall'origine una maglia a misura d'uomo, su un tipo di schema regolato da una strada principale e da una piazza del Municipio.

Il centro storico sembra aver avuto formazione attorno alla presente convergenza di forme, un percorso lineare e uno spiazzo di risulta.

La strada ha assunto nel tempo la funzione di asse ripartitore della maglia urbana e in contemporanea quella di viale di accesso ai cortili e ai viottoli secondari.

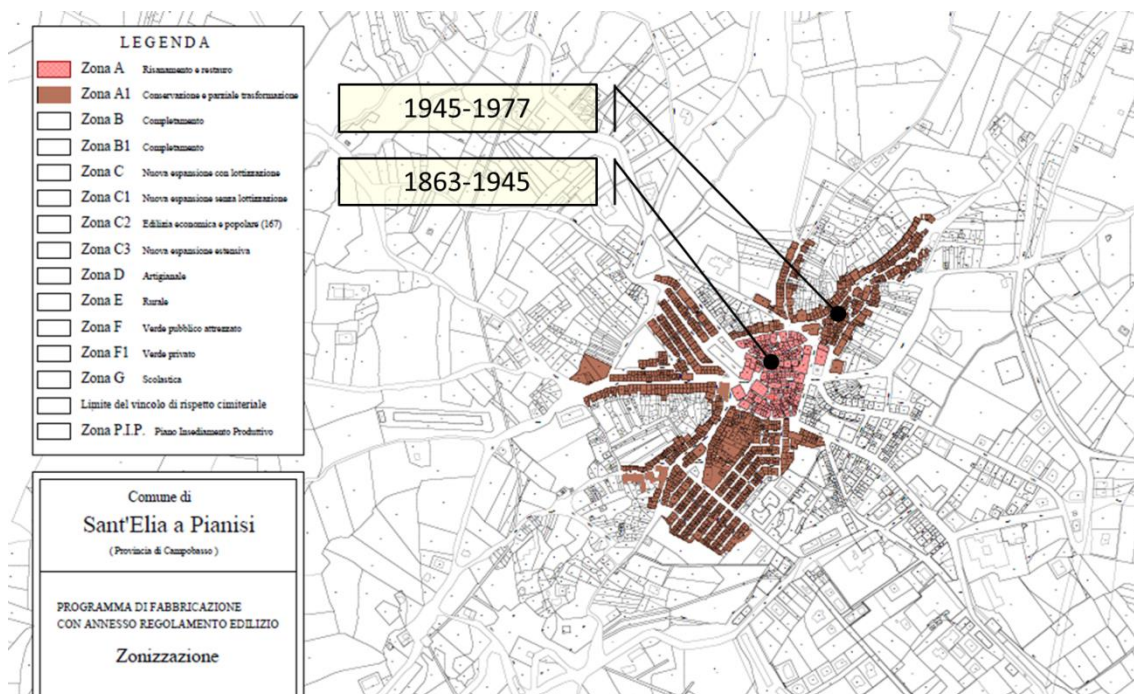
La piazza ha fornito al centro urbano un luogo di assegnazione delle pratiche civili necessarie, come ritrovo per gli abitanti e come spazio adibito alla commercializzazione di materie prime nei modi di un mercato rionale.

Il convento dei cappuccini, posto in sommità, ha avuto in altrettanto modo una sua evoluzione storica, misurando sempre il passo con le forze sociali che hanno sviluppato il borgo, prestando il fianco alle pratiche rionali. La chiesa del convento si è aperta alle pratiche civili, convertendosi da opera conventuale a opera di rito liturgico e di manifestazioni sacre.

Nel corso della Storia, il borgo si è sviluppato lungo il percorso principale, denominato Corso Umberto I, aggregandovi fabbriche di prim'ordine volte alla produzione di olio da olivo e di prodotti farinacei. Il processo d'industrializzazione gli ha conferito un secolo di forte crescita urbana, a seguito di ampliamenti nella maglia periferica e aggiudicandosi il grado di polo attrattore verso e dal centro maggiore (Campobasso).

1- Valutazione storico-architettonica dell'immobile

L'edificato nel quale si trova immersa l'unità strutturale analizzata appartiene al tessuto più antico. Questo complesso di locali, che ha assunto nel tempo la forma di un unico aggregato edilizio, si trova in posizione accentrata rispetto al resto del paese.



Piantina del Programma di fabbricazione – date fotogrammi IGM

L'origine del suddetto aggregato di case, secondo quanto annunciato nell'introduzione, può essere ricondotta alla seconda metà dell'Ottocento. In particolare è possibile riscontrare alcune tecniche costruttive che possono far risalire meglio l'intero sistema alla pratica edilizia di alcuni trattati d'inizio e fine secolo. Di questi un primo trattato, risalente al 1833, enuncia alcune pratiche di rito nella fabbricazione dei muri portanti e nella scelta dei materiali lapidei.¹

In riferimento al secondo periodo si possono annoverare diversi casi-studio, di questi uno in particolare è un manuale d'uso tecnico, del 1890, capace di affrontare in modo puntuale i materiali d'impiego corrente e il loro connubio con sistemi costruttivi validi per l'epoca.²

Dagli scritti si evince in maniera convincente che l'operato tecnico di coloro che hanno dato vita al borgo di Sant'Elia a Pianisi è dipeso in sostanza dai tratti salienti delle opere del passato.

La logica costruttiva ha raggiunto questo borgo attraverso le forme consuete, orale e mediante pratica di bottega, nella fattispecie riguardo al metodo da usare per apparecchiare i paramenti murari e gli orizzontamenti calpestabili (solai).

Il primo trattato menzionato fornisce una chiara veduta d'intenti. Soprattutto esalta alcune tecniche costruttive locali e, in una parte del testo, affiora l'impronta che le manifatture devono possedere.

¹ "Della Architettura di Leon Battista Alberti", Libro dieci, traduzione di Cosimo Bartoli del 1833.

² "Manuale dell'ingegnere civile e industriale" a cura dell'ing. G. Colombo, versione del 1890.

Le leggi che regolano l'opera finale sono riconducibili ad uno dei più influenti maestri dell'architettura del nuovo ordine classico, l'Alberti. Per meglio esprimere il concetto riporto qui di seguito l'estratto:

DELLA ARCHITETTURA

LIBRI DIECI

DI

LEON BATTISTA ALBERTI

TRADUZIONE

DI COSIMO BARTOLI

1833

CAPO VIII.

Delle pietre universalmente: quando si debbino cavare, e quando mettere in opera, quali sieno più facili, e quali più dure, o migliori, o più durabili.

Hannosi ancora ad ordinare le pietre, che hanno a servire per le mura. Queste saranno di due sorti. Alcune serviranno per ordinare, e fare le calcine; ed alcune per alzare l'edificio

Catone dice che le pietre si cavino di state e si tenghino allo scoperto, e non si mettinno in opera se non passati i duoi anni; di state, acciocchè le pietre non avvezze, si assuefaccino a poco a poco ai venti, ai diacci, alle piogge ed alle altre ingiurie de' tempi: perciocchè se le pietre subito cavate della cava, pregne del nativo sugo ed umore, si pongono ai venti crudi ed a subiti diacci, si fendono e si risolvono. Tengono allo scoperto, acciocchè e' si vegga la bontà di ciascuna pietra, e quanto ella sia forte contro alle cose che la molestano

Le assai vene dimostrano, che le pietre sono incostanti ed atte all'aprirsi, e quanto saranno più diritte, tanto più sieno infedeli: nel disfare le pietre, quanto più sottili e più puliti tagli vi verranno, tanto saranno più serrate; e quella pietra, che nel romperla avrà la scorza manco aspra, sarà più trattabile che quella che l'avrà scabrosa. Ma le pietre scabrose, quanto saranno più candide, tanto saranno manco obbedienti.

e finalmente quanto più saranno resistenti allo scarpello, tanto saranno per ciò più costanti e più rigide contro le ingiurie delle tempeste. Dicono che quelle pietre che si mantengono in maggiori pezzi in bocca delle cave, son contro le tempeste più ferme che le altre;

Soppesando queste parole e rimettendole alla tecnica usata per eseguire l'apparato murale dell'edificato di Sant'Elia a Pianisi, emerge la necessità dell'esecutore di compiere l'opera secondo canone o tecnica convenzionale.

Anche in questa parte di territorio nazionale si fa ricorso alla pietra locale e alla *calcine* (calce spenta) data la loro presenza in loco. L'opera eseguita si rifà a una pratica che per consuetudine sottende a un uso maestro della pietra squadrata nelle opere maggiori, e a un uso volgare di una pietra meno rettificata in opere minori (edifici privati di classe sociale meno abbiente).³

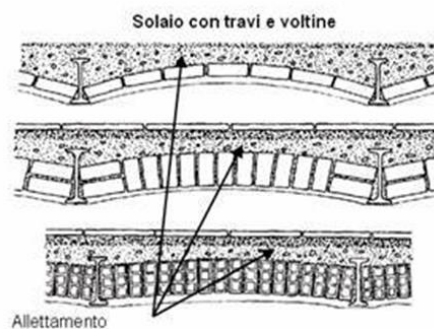
Nelle opere private e di bassa estrazione sociale, la tecnica di lavorazione delle pietre seguiva un corso d'opera semplice. La pietra era sottoposta in modo accorto alla fase di recupero e di messa in opera, con la consapevolezza di quali carichi dovesse sopportare, senza che quest'azione comportasse un aggravio di lavoro e di costi.

L'edificato sottoposto a esame si presta bene a queste conclusioni, infatti, l'apparato murale confida in una tessitura più lasca ma ugualmente capace di sopperire alle azioni indotte dai carichi. La pietra utilizzata è del tipo calcareo, a quel tempo recuperata da opere in disuso o crollate in precedenza; messa in opera, seppur meno squadrata, con calce e arena di allettamento e schegge di pietra e mattoni cotti a fare da orizzontamento livellante.

Questa tessitura muraria, irregolare, ha retto al tempo grazie a due particolari accorgimenti, ossia la sua robustezza (intorno ai 60 cm) e la sostanziale riduzione di aperture esterne. L'intero aggregato che da forma all'unità strutturale, come poi la stessa struttura inglobata nelle menzionate particelle, affronta il tema della gravità e dei pesi, accingendosi a preservare un invaso nel quale buona parte delle pareti sono cieche, ogni apertura è minuta, e inoltre il vano creato nella parete non si accosta agli spigoli di muratura, né in un ordine d'importanza strutturale né nell'altro (direzioni di esercizio x e y). Le azioni che gravano su queste opere confidano su schemi regolari, con una tessitura murale il cui spessore si mantiene continuo per tutta la lunghezza.

Gli orizzontamenti sono pensati per attenuare ogni azione spingente; emerge per questa ragione dall'impianto strutturale l'uso di voltine in ferro e laterizio. Questa tipologia di solaio ricorre soprattutto in una sotto-unità strutturale. Nella stessa si riscontra la presenza di un sottotetto in cui il laterizio è posto in opera in piano (*di quarto*) allo scopo di alleggerire l'opera.

L'uso della volta ribassata, nei modi di una piattabanda, è in grado di sconfiggere l'azione di forza che tende a far gravare il peso di ogni mattone (concio) verso il basso, senza che questa imprima una forza di ribaltamento alle mura.



³ L'artigiano/scalpellino era ritenuto una figura di primo piano nelle opere di bottega, la sua capacità di sequenziare le fasi di lavorazione delle pietre richiedeva abilità, e di conseguenza costi di maggiore impatto sociale. La sua opera, infatti, era richiesta solo in alcuni casi.

Nel secondo trattato⁴ si fa largo questo concetto. L'uso di questa tecnica costruttiva per apparecchiare anche gli elementi orizzontali figura tra le pratiche di epoca ottocentesca.

Nel "Manuale dell'ingegnere civile e industriale" si riscontrano delle regole di messa in opera dei manufatti, mettendo in risalto le giuste proporzioni. In particolare si afferma quanto segue:

134. Spessore dei muri.

1) Muri e pilastri isolati di altezza h : grossezza $s = \frac{h}{8} \div \frac{h}{10}$.

2) Edifici d'abitazione.

a) Edifici a impalcature. — Minimo spessore dei muri maestri all'ultimo piano = 3 teste (almeno 0^m,35): pei piani inferiori, aumento di 1 testa per piano nei muri d'ambito, di 1 testa per 2 piani nei muri interni. — Muri di tramezzo che portan travi, e muri d'ambito delle scale, almeno 3 teste su tutta l'altezza. — Tramezzi secondari, spessore costante di 2,1, $\frac{1}{2}$ testa secondo i casi.

b) Edifici a vólte. — Muri maestri, 1 testa di più che in a).

c) Edifici con muri di pietrame (a spigoli vivi). — Edifici a impalcature: minimo spessore dei muri maestri all'ultimo piano 0^m,45; per ogni piano inferiore, risega di 0^m,10 ÷ 0^m,12 pei muri d'ambito, di 0^m,05 pei muri interni. — Edifici a vólte: 0^m,10 di più degli spess. precedenti.

135. Fondazioni. — Un buon terreno di fabbrica si può caricare di 25000 a 30000 kil. per mq. In base a ciò si calcola l'estensione della fondazione.

Muri di fondazione. — Spessore a livello del suolo, almeno 1 testa di più dello spessore al pian terreno. Per profondità > 1^m,5 si fa una risega di 1 testa ogni 1^m,5; per muri in pietrame, risega di 0^m,15.

Palafitte per terreni poco resistenti. — Palafitte per sostegno diretto di costruzioni: lunghezza dei pali $l = 2^m \div 8^m$; loro diametro = 0^m,24 + 0^m,015 ($l-4$). Un palo ogni 0,8 ÷ 1,20 mq. di superficie di terreno secondo il carico. — Palafitte di semplice costipamento del terreno: lunghezza dei pali $l = 2^m \div 3^m$; diametro = 0^m,15 ÷ 0^m,18; distanza fra i pali 0^m,75 ÷ 1^m,50.

137. Vólte ordinarie.

1) Archi e voltine nei muri maestri e intermedi:

Ampiezza o luce	fino a 2 ^m	2 ^m ÷ 3 ^m	3 ^m ÷ 6 ^m	6 ^m ÷ 8 ^m
Num. di teste { a tutto sesto ...	» 2	3	4	5
in chiave { ad arco scemo .	» 2	3 ÷ 4	4 ÷ 5	5 ÷ 6

Grossezza delle spalle o piedritti. — Se l'altezza delle spalle non supera 3^m, la loro grossezza è di $\frac{1}{4} \div \frac{2}{9}$ della luce per archi a tutto sesto, e di $\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$ per archi più o meno scemi (saetta da $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{8}$ della corda). — Se l'altezza è > 3^m, le grossezze indicate vanno aumentate di $\frac{1}{8} \div \frac{1}{6}$ dell'altezza.

4) Vólte di semplice copertura senza sopracarico si possono fare con mattoni, pieni o vuoti, messi a piatto, per piccole ampiezze; per grandi ampiezze (vólte delle chiese ecc.) lo spess. in chiave = $\frac{1}{40} \div \frac{1}{60}$, la grossezza dei piedritti = $\frac{1}{7} \div \frac{1}{8}$ dell'ampiezza.

Nello stesso testo sono riportate le norme edilizie di riferimento, atte a preservare l'opera e la proprietà di confine. In particolare si afferma che:

"Ogni comproprietario può appoggiare le sue costruzioni al muro comune e immettervi travature o chiavi fino alla distanza di 0,05 m dalla faccia opposta, salvo all'altro il diritto di far accorciare i travi fino a metà muro, se ha bisogno di immettere travature o aprire incavi nello stesso posto"

⁴ Vedi nota 2

Proseguendo si afferma inoltre che:

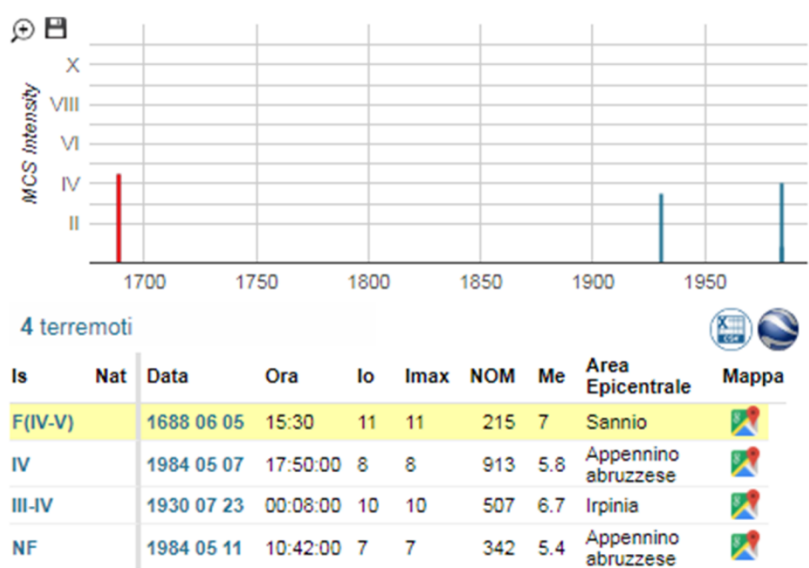
“Non può fare incavi nel muro comune, né applicarvi nuove opere senza il consenso dell'altro, salvo far peritare, in caso di rifiuto, i mezzi onde l'opera non riesca di danno”.

a- Attività tellurica e metodi convenevoli

Dall'insieme delle informazioni storiche, e di quelle fin qui riportate, emerge una prassi ripetitiva nell'esecuzione dei manufatti edilizi, tesa ad equilibrare l'azione gravitazionale. Traspare pur tuttavia la mancanza di una regola sulle complicazioni dovute all'azione tellurica. Infatti, per tutto l'Ottocento, nei testi ufficiali, e per consuetudine anche durante la fase di apprendimento degli artigiani, si è continuato a ritenere necessario il solo equilibrio delle forze gravitazionali⁵.

Di conseguenza l'attività edilizia ottocentesca ha continuato a confidare in pratiche interessate a risolvere il solo problema statico delle opere, forgiate da maestranze locali poco avvezze all'emancipazione culturale. La tecnica dell'epoca riteneva che le forze in oggetto erano risultanti dai pesi e dalle ampiezze dei manufatti. La spinta esterna era concepita sulla base del solo sforzo di carichi (risultante e forza reagente) necessario per contrastare l'azione di ribaltamento dei setti verticali. La logica corrente consisteva nel demolire le opere cedevoli e nel riutilizzare il materiale di risulta nelle opere di nuova fabbricazione; in occasione di edifici maggiori si prendeva atto della loro tragica sorte e si provvedeva alla loro ricostruzione o messa in sicurezza. Le tecniche d'utilizzo hanno sempre previsto asporto di materiale o manufatto ammalorato e conseguente introduzione di nuovo materiale o manufatto (tecnica del scuci e cuci).

Ciò detto la Storia ha assistito alla formazione del primo borgo di Sant'Elia a Pianisi, con tecniche convenevoli, anche alla presenza di eventi disastrosi.



Scheda riferita al Comune [sito Ingv – CFTI]

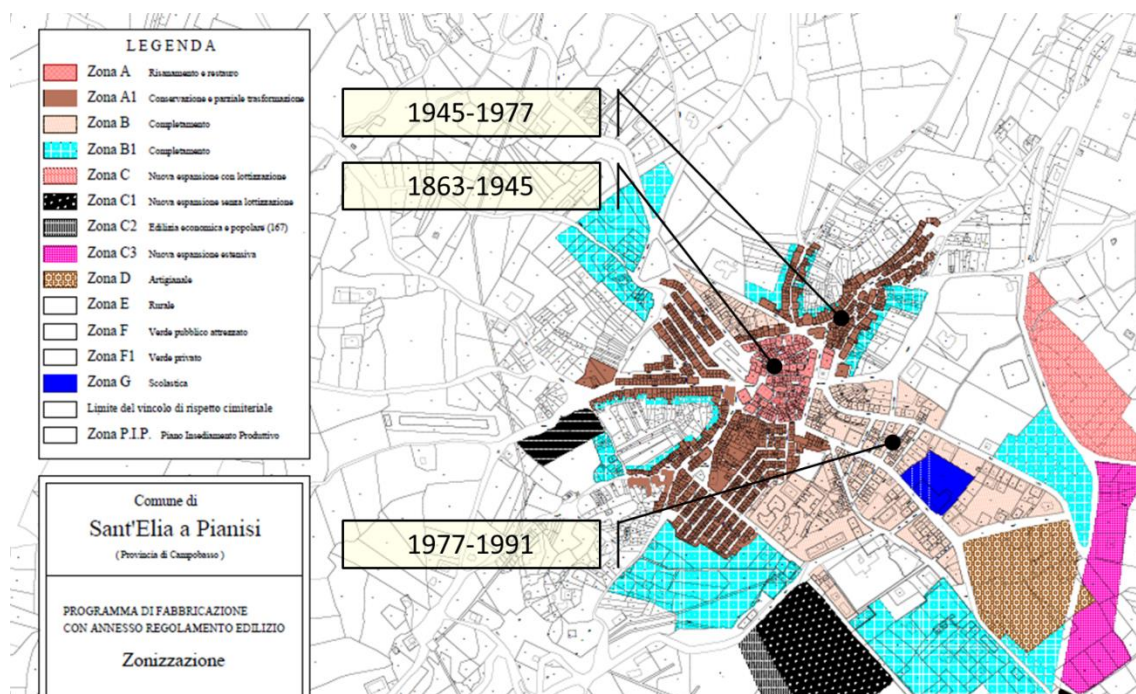
⁵ Nel corso della storia sono stati sviluppati accorgimenti tecnici e testi specifici, ma la loro efficacia nella vita pratica non ha mai avuto seguito. Si segnalano a questo proposito:

- Il *“Libro dei diversi terremoti”*, Pirro Ligorio, Archivio di Stato di Torino, 1571;
- Le *“Normative Pignatelli”* del Governo Borbonico, 1783-1784;
- La *“Istoria e teoria de' tremuoti”* Giovanni Vivencio, stamperia Regale di Napoli, 1783;
- Le Normative per la ricostruzione di Norcia (Borgo Pio) del 1859.

Dalla scheda appena esposta, si apprende che il territorio nel quale ricade il Comune di Sant'Elia a Pianisi è stato colpito in passato da alcuni eventi sismici, in particolare negli anni 1688, 1930 e 1984, raggiungendo rispettivamente una magnitudo equivalente (Me) pari a 7.0, 6.7 e 5.8.

Nel 2002 un nuovo terremoto con epicentro a San Giuliano di Puglia ha scosso la zona nella quale ricade il Comune di Sant'Elia. In quest'ultimo caso si è ritenuto opportuno approntare un piano di ricognizione e un adeguamento per le opere precarie.⁶

Nel corso degli eventi passati il tessuto ha mantenuto la sua composizione architettonica, la struttura urbana si è emancipata raggiungendo un nuovo agglomerato. La tecnica costruttiva dal suo ha preservato quanto pervenuto a noi dal vecchio borgo e ha fatto emergere l'uso del conglomerato cementizio armato nelle opere più recenti, intorno e ai margini del primo tessuto storico (zona A e B). Questa tecnica ha continuato per suo conto ha manifestare la stessa pratica convenevole del secolo prima. Il nuovo tessuto, infatti, mostra ancora una volta un impegno edilizio di media fattura, ricalcando in questo la Storia delle opere minori.



Piantina del Programma di fabbricazione – date fotogrammi IGM

b- Conclusioni

Nel trarre delle prime conclusioni appare chiaro rilevare che il territorio in questione ha confidato in un impianto strutturale basato sulla contiguità dei volumi edilizi. Le pareti portanti servivano nello stesso tempo due o più unità abitative, facilitando la messa in opera dell'edificato (costi minori) e la sua resistenza costruttiva (maggiore efficienza).

⁶ Nel periodo compreso tra il 2002 e il 2003 è stato sviluppato un Piano generale della Protezione Civile, che ha portato alla stesura del PEU e di schede d'indagine dirette a rilevare lo stato delle opere urbane. In tale occasione la Protezione Civile e gli enti preposti alle varie fasi intermedie hanno confinato l'area d'intervento e hanno puntellato le facciate più danneggiate. La maglia urbana ha resistito in modo efficace, nonostante alcuni interventi mirati a ripristinare la funzione portante. In buona misura l'edificato, compreso quello ricadente nella zona A, ha continuato ad essere in buona parte agibile, manifestando soprattutto danni non strutturali.

Di conseguenza la resa finale dell'impianto urbano più antico ha messo in sicurezza ogni singola partizione anche da eventuali dissesti sismici. Quest'ultima condizione fornisce la logica vincente per fronteggiare oltre l'azione dei pesi anche quella indotta dagli orizzontamenti, e quindi ogni forza che imprime l'azione in un verso diverso da quello verticale.

L'esito di queste deduzioni è la logica conseguenza del motivo per cui, a fronte di quattro eventi tellurici, l'abitato al centro di questa indagine non ha subito gravi danni. Ad oggi, la semplice maglia muraria chiusa, seppure irregolare, priva di cordoli o elementi spingenti e gravata in alcuni casi da solai in voltine e da copertura lignea con tavolame e coppi, continua a preservarsi senza temere eventuali azioni esterne.

2- Grafica e schema costruttivo dell'immobile

Segue una rassegna grafica capace di illustrare la tipologia costruttiva e il sistema tecnologico posto alla base del complesso abitativo. Nella grafica si metterà in risalto anche la giusta apposizione dei piani, allo scopo di agevolare sin d'ora l'esatta confluenza dei setti di ogni piano, e dunque il ruolo che le mura giocano nel complesso dei carichi agenti.

a- Modello di confronto dell'apparato murario portante

Le informazioni rese finora hanno permesso di cogliere l'esatta combinazione di materiali utilizzata per erigere le opere verticali perimetrali dell'intera unità strutturale in oggetto.

“Dunque della *calcine* adeguatamente miscelata con *arena* ha permesso di legare tra loro blocchi poco squadrati di pietra e schegge di risulta. L'opera compiuta ha generato una maglia irregolare, ripetuta su ogni lato esterno delle unità abitative e opportunamente rivestita con intonachino. Ad ogni piano le teste dei profili metallici, che sorreggono il solaio, raggiungono il filo delle mura interno, nei modi di un vincolo di appoggio tradizionale.”

Per meglio favorire la comprensione del suddetto apparato murario esterno, si preferisce aggregare all'immagine finora resa, in forma letterale, anche una di natura grafica. Lo scopo è raggiunto accedendo ai dati di un sito della Regione Toscana, che ha prodotto una raccolta di prototipi. L'abaco in questione distingue l'apparato murario in funzione della sua maglia, dei materiali impiegati e delle prove tecniche effettuate.⁷

Quest'approccio d'indagine grafica risulta convincente in quanto, come menzionato prima, le opere dell'Ottocento hanno assunto quasi sempre le stesse conformazioni. Dunque come la logica costruttiva così anche la prassi esecutiva tendono ad assomigliarsi. I prototipi di maggiore interesse sono i seguenti:

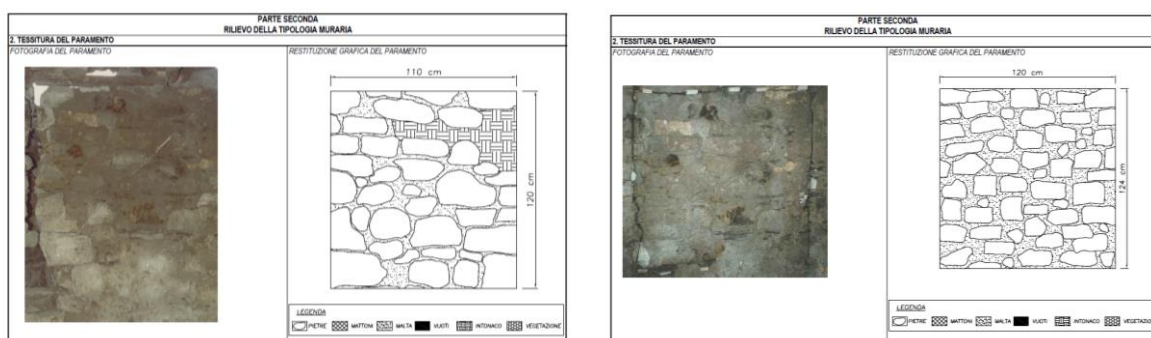
SCHEDA	DENOMINAZIONE	CAT. ⁸	ETA COSTRUZIONE	PROVA IN SITU
003	PANNELLO 1 (H)	C	DA 1800 A 1900	CD
004	PANNELLO 1 (I)	C	DA 1800 A 1900	CD

⁷ L'abaco appartiene al sito <https://www.abacomurature.it> (l'accesso al materiale divulgato deve avvenire mediante registrazione al sito)

⁸ La categoria esprime la classificazione regionale utilizzata per identificare la maglia muraria (GNDT). In riferimento alle schede in oggetto con il termine C si intende “muratura di pietra sbazzata in presenza di irregolarità”.

Le due schede evidenziano molti aspetti comuni con l'apparato murario di Sant'Elia a Pianisi: i- il periodo di catalogazione, ii- la logica costruttiva, iii- l'ispessimento delle mura, iv- la disposizione in esterno. Ne consegue che anche le effettive capacità strutturali dei due modelli presi ad esempio possiedono buone probabilità di assomigliare a quelle attribuibili all'apparato murario di Sant'Elia a Pianisi.

In conformità a quanto detto è opportuno aggiungere una grafica riepilogativa delle qualità murarie dei modelli appena descritti. L'ordine del materiale grafico segue quello della numerazione indicata prima (003, 004).



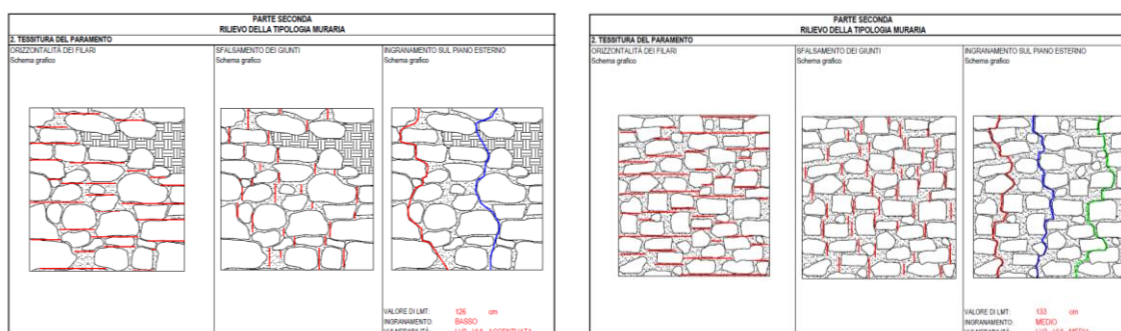
Dai dati pervenuti, è possibile stilare uno schema riepilogativo sulle caratteristiche costruttive dei due modelli.

SCHEDA	TIPOLOGIA	RICORSI	ORIZZ.TI/LISTATURE	ZEPPE	DIATONI
003	IN PIETRA	ASSENTI	ASSENTI	IN PIETRA	NON RISPETTATO
004	IN PIETRA	ASSENTI	ASSENTI	IN COTTO E IN PIETRA	NON RISPETTATO

Dai dati si apprende chiaramente che anche i modelli appena enunciati, al pari delle mura del caso in esame, confidano solo nel materiale lapideo per orizzontare e migliorare l'apparato murario.

Lo stesso sistema confida nelle schegge di pietra, e soltanto in un caso anche nell'inserimento di schegge di laterizio, per facilitare la posa delle pietre irregolari e riempire i vuoti della maglia.

Infine anche questi modelli rilevano la presenza di un corpo murario formato da un doppio paramento di medio spessore. Le prove in situ hanno prodotto le informazioni necessarie per sviluppare dei calcoli di grafica analitica. La grafica evidenzia il grado di comportamento che il sistema murario possiede, e offre anche il grado di vulnerabilità della parete. Dai modelli si evince quanto segue:



Dalla grafica si apprende che nel primo caso la vulnerabilità dell'apparato murario è maggiore del secondo modello. La ragione è da ricercare nell'irregolarità degli strati di materiale lapideo; nel

primo modello esaminato si riscontra un maggiore allineamento di ogni strato precedente su quello successivo, tale condizione è invece più distanziata e meno frequente nel secondo modello. L'irregolarità e lo sfalsamento dei giunti rendono meno resistente l'intero apparato murario alle possibili azioni orizzontali, che inducono lo stesso a flettersi fuori dal piano.

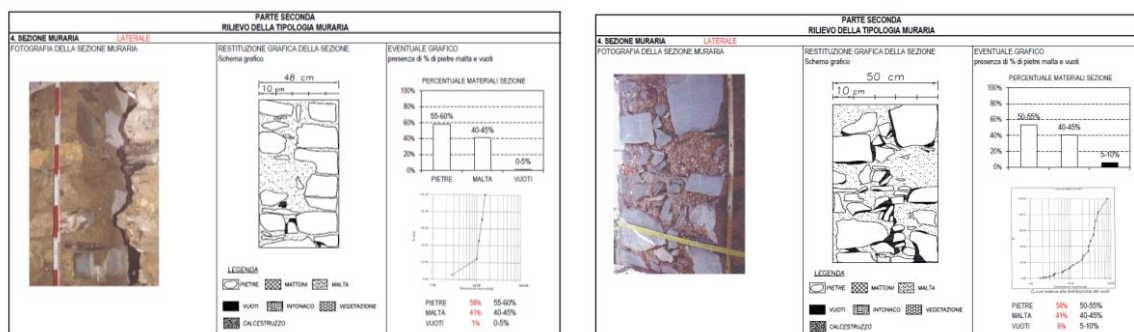
Queste considerazioni possono ritenersi valide anche per l'apparato murario di Sant'Elia a Pianisi; del resto la maglia strutturale del caso in esame si presta bene al secondo modello. Quindi è da ritenersi verosimile che anche il caso in esame presenti un medio livello di vulnerabilità.

Fatte queste considerazioni torna utile aggiungere anche i dati riguardanti la composizione della malta utilizzata per apparecchiare i due prototipi. I dati di laboratorio ammettono quanto segue:

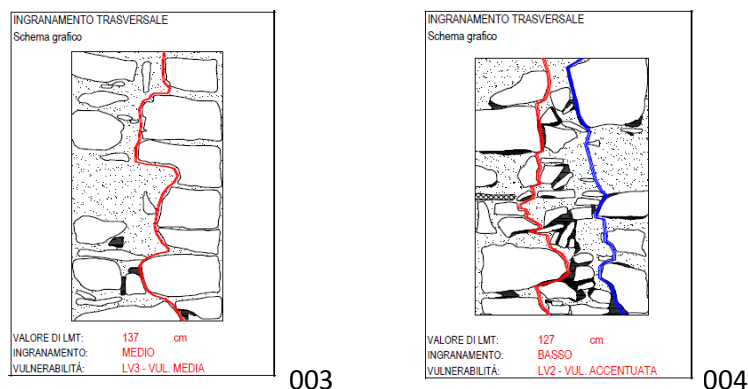
CARATTERIZZAZIONE MATERIALI DEL PARAMENTO – MALTA						
SCHEDA	FUNZIONE	CONSISTENZA	TIPO AGGREGATO	QUALITA	m ⁹	g ¹⁰
003	allettamento	friabile	sabbia, ghiaietto	non rispettato	0.7	1
004	riempimento					

La qualità e la composizione dei materiali utilizzati per la fabbricazione della malta tendono ad assomigliare anche al paramento murario dell'unità strutturale sotto esame; la consistenza della malta, in particolare, dimostra d'essere ugualmente friabile nelle parti lasciate a vista.

Concludendo, appare utile accennare anche allo spessore murario (faccia laterale). L'abaco restituisce anche un'immagine grafica della loro composizione, mettendo in risalto la percentuale di pietre, di malta e di vuoti presenti.



Sul fianco laterale (trasversale), in entrambi i casi, l'intero setto portante confida in un apporto di materiale lapideo e di legante quasi equivalente. Rimettendo in ultimo questa grafica allo schema che evidenzia il livello di vulnerabilità dei modelli, si apprende quanto segue:



⁹ Esprime la resistenza della malta (0.7 se malta pessima - $f_m < 0.7 \text{ N/mm}^2$; 1 in tutti gli altri casi)

¹⁰ Esprime la conformazione dei giunti di malta (0.7 se giunti di malta ampi - $sp > 13 \text{ mm}$; 1 in tutti gli altri casi)

b- Modello sotto esame

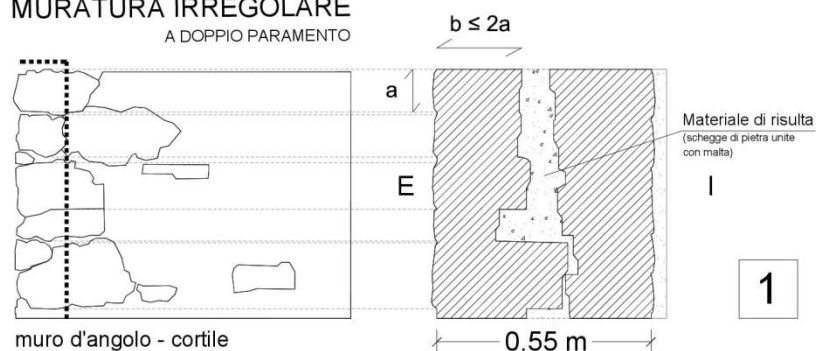
La scelta di legare i modelli appena esposti a quello che mi propongo di esaminare è ravvisabile meglio dal complesso di informazioni che ho potuto acquisire nel sito d'indagine.

Emerge da un mio disegno ottenuto per estrapolazione di dati e restituzione al CAD, che l'apparato murario conserva un'aggregazione di paramenti dello spessore di circa 25 centimetri ognuno. Il materiale lapideo di risulta, in aggiunta a legante, ha con ogni probabilità riempito i vuoti tra i due paramenti murari.

La pietra, proveniente da siti posti nelle vicinanze¹¹, si presta ad essere poco sbazzata e posata in aggiunta a del materiale di diversa fattura (mattoni cotti). L'accostamento dei materiali è ravvisabile solamente in alcuni passaggi della muratura.

La muratura è costituita soprattutto da pietre di media e piccola dimensione. Questa scelta progettuale offre un'immagine particolare, che porta a ritenere la superficie di aderenza maggiorata un fattore di maggiore coesione per il singolo paramento murario.

MURATURA IRREGOLARE
A DOPPIO PARAMENTO



Le facce interne si mantengono unite in buona parte per mezzo di materiale di risulta, sono soprattutto i punti di snodo della muratura a fornire dei possibili agganci tra il paramento esterno e quello interno. Emerge anche un ingrossamento di alcune parti di muratura, lungo l'intera altezza, al fine di rafforzarle nella parte in cui convergono tra loro in ortogonale.

Su questa serie d'informazioni grafico-analitiche posso concludere affermando che la natura dei setti murari portanti presenti nella località sotto esame, tende ad assomigliare alla compagine strutturale dei modelli appena esposti.

Come conseguenza anche l'unità strutturale di Sant'Elia a Pianisi può manifestare diversi aspetti comuni con i due modelli esposti, incluso il medio e basso ingranamento dei rispettivi paramenti murari, longitudinale e trasversale. Quest'ultimo aspetto mette in evidenza un livello di vulnerabilità medio-basso.

Altri accorgimenti costruttivi sull'impianto edilizio sono rimandati al paragrafo dedicato alle linee guida della Regione Molise. L'ente regionale ha stilato un programma PER nel corso degli anni successivi al sisma del 2002. In tale occasione è stata resa nota una prassi procedurale per schedare la costruzione muraria.

¹¹ Pietra cavata da luoghi distanti dal borgo, oppure prelevata da opere in disuso e/o crollate.

c- Rilievo delle piante e degli alzati dell'unità strutturale¹²

L'edificato della parte storica di Sant'Elia a Pianisi tende a mantenere una contiguità di abitato. Data la natura discontinua delle coperture e il mancato allineamento delle aperture ad ogni piano, occorre constatare che ogni parete contigua ammette più di uno attacco per piano, sfalsati e in semplice appoggio.



Questo particolare schema, articolato in pianta e in alzato, consente di affermare che l'intero aggregato edilizio si è preservato grazie ad un'intricata azione di pesi. Ogni parete mostra sicuramente una creazione di incavi per le teste dei profili metallici¹³ e delle travi in massello a diversa quota. Questa condizione ha fino ad oggi differito l'azione unica indotta dal sisma, consentendo all'intero aggregato di ripartirla ad altezze differenti. Inoltre, l'instabilità di questi setti portanti è stata attenuata grazie all'impiego di contropareti, di uguale spessore.

Queste ultime pareti si mostrano ancora oggi capaci di irrigidire lo schema complessivo, in favore dei setti caricati e dei collegamenti al piano, soprattutto in prossimità dell'attacco.

Nell'opera indagata si riscontrano anche interventi di adeguamento statico sui solai intermedi dell'ambiente di categoria C/2. Questi interventi hanno riguardato l'aggiunta di profili metallici in alcuni punti specifici, allo scopo di ripartire meglio il carico che grava su alcune travi originarie.

Entrando nel merito dello schema costruttivo, il rilievo geometrico e l'analisi dei materiali in loco hanno fornito una base per nuove congetture a supporto dell'analisi statica.

In ordine d'importanza la restituzione delle piante e degli alzati ha fatto emergere la reale "catena di elementi" che definiscono le due UMA:

- tre pareti a doppio paramento murario e spesse maggiormente definiscono il grosso dei setti con valenze portanti;
- gli orizzontamenti dell'abitazione sono concepiti in ordine diverso rispetto a quelli dei locali-deposito¹⁴;
- il sistema di copertura dell'abitazione si avvale di travi maestre e traversi che ne equilibrano e alleggeriscono il peso sulle mura.

¹² L'aggregato edilizio si compone di due distinte unità strutturali d'interesse (unità minime d'analisi - UMA).

¹³ Dai trattati storici emerge che tali profili erano nominati "ferri a I" e nel caso del sottotetto a voltine la loro grandezza era poco superiore a quella minima di 80 mm (100 mm di altezza).

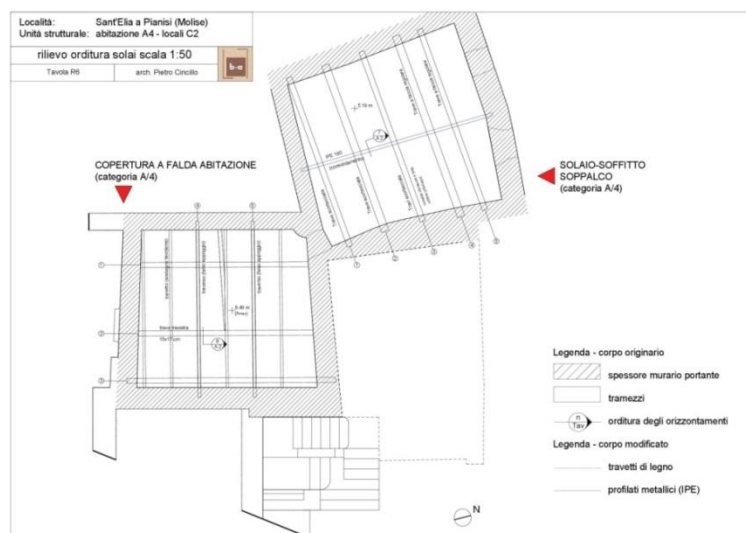
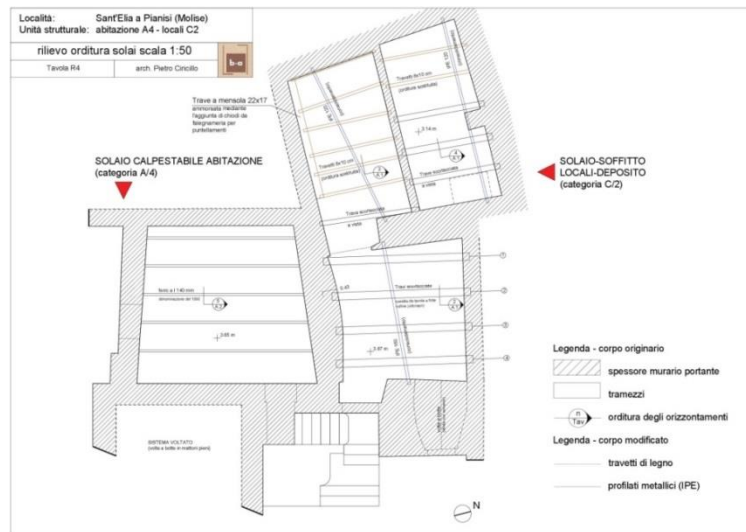
¹⁴ Nel primo caso si tratta di voltine in ferro e laterizio, di diversa posa dei mattoni. Nel secondo caso si tratta di travi in legno di quercia scortecciate e rivestite di tavole, a cui sono state aggiunte delle finte voltine (dei mattoni in piano posizionati allo scopo di contenere il getto di conglomerato sovrastante).

Analisi edificio storico in località Sant'Elia a Pianisi (CB)

Allo scopo di evidenziare quanto detto sopra segue una esposizione di immagini, di piante e di particolari tecnologici.

➤ Tavole R4-R6

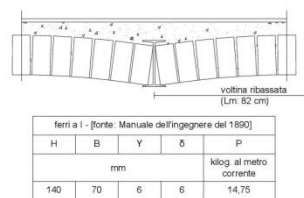
Piante orditura-solai abitazione-locali-deposito



 ABACO sistemi costruttivi

solaio calpestabile
abitazione (A/4)

VOLTINE IN LATEROZIO E PROFILI METALLICI



pavimento
massetto
(calcestruzzo)

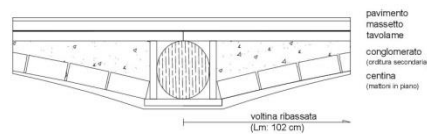
mattoni
pieni

5

SISTEMA NON SPINGENTE

solaio calpestabile
locali deposito (C/2)

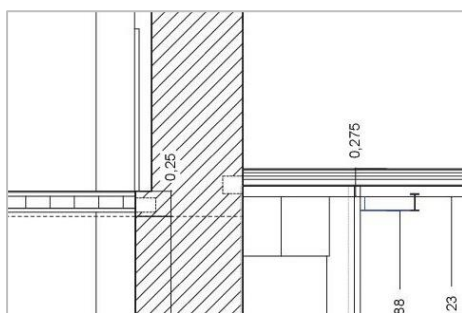
TRAVI SCORTECCIAE
IN LEGNO DI QUERCIA
CON FINTE VOLTINE



2

SISTEMA NON SPINGENTE

Analisi edificio storico in località Sant'Elia a Pianisi (CB)



Particolare della TAVOLA S2

Il salto di quota tra i solai equivale ad un filare di pietre (c.a. 19 cm).

Dalle informazioni apprese, ed espresse dalle suddette immagini, è emerso che il corpo di fabbrica riguardante l'abitazione (UMA n.1) prevede un sistema disgiunto da quello destinato ai locali-deposito (UMA n.2).

Le facce cieche del primo corpo sono comunicanti con altri ambienti e altri schemi scatolari. In particolare il lato d'ingresso all'abitazione è accostato a un corpo in muratura regolare e che presenta delle pietre d'angolo negli spigoli vivi (vedi affaccio lato cortile). L'altro lato si accosta interamente ad ambienti le cui pareti emergono anche in altezza.

Il corpo di fabbrica destinato ai locali-deposito, con accesso sullo stesso lato, si distribuisce su una pianta articolata, che conduce agli ambienti più interni. Lo spaccato restituisce una pianta e un alzato in cui il primo piano allinea le travi maestre nello stesso verso dell'abitazione. Sopra i locali posti in profondità, superata la scala di raccordo al soppalco e osservando il soffitto di quest'ultimo, ci si accorge che l'ordine delle travi è invertito. Quest'ultime poggiano sulle mura opposte a quelle che emergono dalla tavola R4, ravvisabili nella tavola R6.

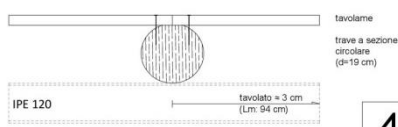
In aggiunta a quanto detto è possibile affermare che il primo corpo di fabbrica, che allinea il locale di bottega sottostante l'abitazione con quest'ultima, segue un ordine di esecuzione negli orizzontamenti di diversa fattura rispetto al secondo corpo. Le stesse travi a sezione circolare (prive di corteccia) presenti nel secondo corpo esaminato, rimandano a una logica esecutiva riscontrata solamente nei piani superiori.

Entrando nel merito dei particolari tecnologici è emerso un dato rilevante, ossia che alcune travi a vista poste a sostegno del soppalco (solaio rustico) sono ammalorate. Sono per lo più inserite all'interno delle mura per mezzo di cavità richiuse con malta e si servono delle stesse pietre come soglia di appoggio e per resistere al taglio.

solaio calpestabile
locali deposito (C/2)

TRAVI SCORTECCIAE
IN LEGNO DI QUERCIA
A VISTA

TAVOLATO CHIODATO IN SOLAIO RUSTICO



SISTEMA NON SPINGENTE



ABACO sistemi costruttivi (Tavola A1) e foto-rilievo di trave ammalorata

Una trave in particolare continua a essere ammorsata alle pareti da un lato e totalmente disgiunta dall'altro capo. In prossimità di questo sistema con travi scortecciate e a vista, si nota l'aggiunta di travetti di diversa connotazione storica. La loro presenza accresce la consapevolezza che le travi devono aver subito attacco già nel corso del tempo e che la causa è dipesa fortemente da due mura totalmente interrate. Una delle suddette accoglie le teste delle travi.

Nel corso dell'indagine visiva ho appreso che il corpo di fabbrica destinato in buona parte a locali-deposito, forse per la differente fase costruttiva, è stato oggetto di adeguamenti strutturali. Dalle tavole R4 e R6 emerge chiaramente come ogni impalcato di travi è stato consolidato mediante l'aggiunta di un profilo IPE in ortogonale, in prossimità della loro mezzeria.

Gli ultimi aspetti rilevati mi hanno convinto che la differente fase di costruzione e il diverso involucro architettonico, tra il primo ed il secondo corpo di fabbrica, possono aver giocato un ruolo significativo nella resa finale del sistema costruttivo. Con ciò emerge chiaramente che il primo corpo ha preservato meglio la sua capacità di resistere alle azioni statiche, mentre l'altro corpo di fabbrica ha dovuto evitare maggiori scollamenti con il sistema costruttivo originale.

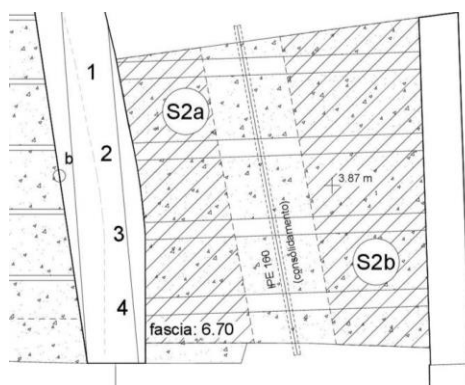
In merito al soppalco ligneo l'opera edificatoria originale ha messo a punto uno schema statico differente a seconda del piano di orizzontamento. Il solaio di arrivo al piano calpestabile prevede travi a vista in legno di quercia e un assito di tavole accostate "a modino" e chiodate alle suddette travi. Il solaio che fa da soffitto all'ambiente, ugualmente calpestabile, prevede travi di quercia di maggiori dimensioni, racchiuse tra tavole e finte voltine. Questa logica costruttiva è possibile intravederla in una zona in cui ha ceduto parte del riempimento di voltina.



d- Schema statico

Superata la fase di analisi e d'ispezione visiva, l'attenzione si è spostata sugli accorgimenti tecnici e di seguito sulla loro modalità costruttiva. La presenza di alcuni interventi di adeguamento statico, intervenuti intorno al 1950¹⁵, hanno portato a un ulteriore ragionamento.

Da ciò è emerso che i profili metallici sono stati disposti al di sotto dell'orditura lignea principale allo scopo di accrescere la resistenza meccanica del sistema-solaio. I suddetti sono stati appositamente posizionati in aderenza alla faccia inferiore delle travi lignee, in prossimità della mezzeria.



particolare - Tavola T3a



particolare - Tavola T4

¹⁵ La data in questione mi è stata riferita da persona informata, che ha potuto accertarsene perché fisicamente presente in loco nel corso della sua adolescenza.

Tre ambienti, due dei quali destinati a locale-deposito, ammettono questo genere d'intervento (ved. tavole T3a, T3b). La logica costruttiva consiste nel ridurre l'incurvamento eccessivo della trave lignea (saetta d'incurvamento) e nel contempo aumentare la sua resistenza entro tratti di campata segmentati. In questo modo la trave sottoposta all'intervento accenna ad avere una minore deformazione e il solaio una maggiore rigidità.

Un profilo IPE180 è riscontrabile all'intradosso del solaio calpestabile che fa da soffitto al soppalco (ved. tavola T4). Anch'esso fornisce al solaio una maggiore rigidità nel piano.

L'ambiente di deposito confinato nella parte più interna, prevede un IPE120 inserito a ridosso di una delle mura. Questo profilo assolve a un compito diverso dagli altri.



particolare - tavola T3a e foto di riferimento

La sua funzione consiste nell'anticipare l'appoggio delle travi alla parete interrata. L'intervento è stato eseguito senza tener adeguatamente conto del rischio di un attacco biologico delle travi, dovuto all'incremento di umidità assorbito dalle loro teste¹⁶.

In conclusione si può affermare che l'insieme di questi adeguamenti hanno accresciuto in parte la solidità degli orizzontamenti e in altro modo hanno ridistribuito i pesi gravitazionali. I profili metallici si sono resi capaci di attenuare la risposta sismica di alcuni setti murari, ridistribuendo i carichi verso le mura ortogonali. In questo nuovo disegno di forze e pesi, ogni componente verticale e orizzontale ha finito con il collaborare in sinergia.

Procedendo nell'analisi statica è emerso anche un ulteriore schema di distribuzione dei carichi in copertura. Dall'evidenza dei fatti e dal riscontro dei calcoli di verifica è emerso che l'orditura principale si avvale di traversi per gestire e distribuire l'azione gravitazionale.

Le travi principali si mostrano continue e di fattezze dimensionali ridotte (15x17 cm), presumibilmente in ragione della presenza dei traversi. Il solaio di copertura scarica sulle travi parte del carico gravitazionale secondo la fascia di appartenenza, avente per l'arghezza un interasse mediamente di 1.70 m.

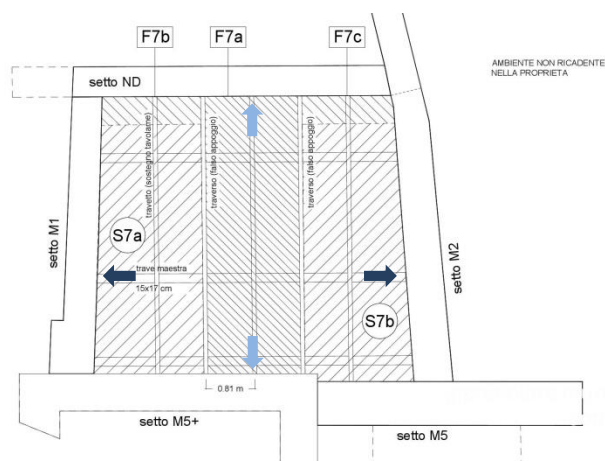
I traversi sono stati aggiunti all'intero schema statico allo scopo di prevenire un eccessivo incurvamento delle travi maestre¹⁷.

¹⁶ Occorre precisare che il danno non è stato evitato, infatti, le teste delle travi sono state lasciate inserite nel setto murario interrato. Come conseguenza la testa delle travi ha assorbito umidità in eccesso (> 20%) e le stesse hanno subito attacco da parte degli insetti del legno.

¹⁷ I traversi, mediamente di 10x20 cm, assicurano alle travi un punto di appoggio intermedio al fine di ridurre la saetta d'incurvamento. Come conseguenza il piano di copertura tende a irrigidirsi (comportamento infinitamente rigido).

La dimensione trasversale, volutamente maggiorata in altezza (10+10 cm), fornisce anche un'altra ipotesi di utilizzo degli stessi. La suddetta sezione, riscontrabile nella parte emergente dal muretto di sottotetto, è sufficiente per sgravare le travi maestre di una parte del carico di copertura e riversarlo sui setti ortogonali.

Ne consegue che la duplice funzione del traverso spiega il suo raddoppio di sezione e, in contemporanea, la riduzione della sezione riscontrata nelle travi continue. Infatti, mentre il traverso assume una sezione che non lo inflette eccessivamente anche sotto un carico aggiunto (su una fascia di carico larga 80 cm), la trave maestra può continuare a gestire il carico ridotto confinata in una sezione rastremata. Nell'immagine che segue (tavola T5) si rende evidente la combinazione dei carichi gravitazionali appena esposti.



NOTA CONCLUSIVA

L'accesso limitato alla copertura non ha consentito un completo rilievo degli elementi. Parte dei dati numerici sono stati prodotti per mezzo di verifiche e accertati attraverso documentazione storica.

In particolare:

- La trave continua è stata rilevata in parte, attraverso la botola del sottotetto, e in seguito è stata sottoposta a una verifica dimensionale. L'analisi è stata condotta al fine di ricavarne la dimensione di massima, capace di sopperire all'azione flessionale indotta e all'instabilità che ne deriva (freccia o saetta d'incurvamento)¹⁸.
- Il traverso, rivelandosi meno accessibile, è stato dimensionato tenuto conto dell'immagine documentativa, della fonte storica (trattati) e dell'analisi di carico.
Dalla fonte storica ho ricostruito un possibile taglio dimensionale¹⁹, di conseguenza ho approssimato un calcolo di verifica di massima.

¹⁸ Dai trattati storici è stato possibile applicare alcune regole di scienze costruttive, in particolare si è assunta come vera la seguente condizione di verifica: $M \leq k * J/z$; con k come coefficiente di sicurezza e j/z come momento di resistenza della sezione. La saetta d'incurvamento è stata rapportata al caso in cui l'elemento inflesso sopporta un carico uniformemente distribuito: $f = 5/384 * (p * L^4)/(E * J)$ (la condizione istantanea ammette un limite pari a L/300).

[paragr. intitolato "Resistenza alla flessione", "Manuale dell'ingegnere civile e industriale", Hoepli, Milano 1890; paragr. intitolato "Teorica della flessione", "Trattato sulle costruzioni in legno", Antonio Vallardi, Milano 1879].

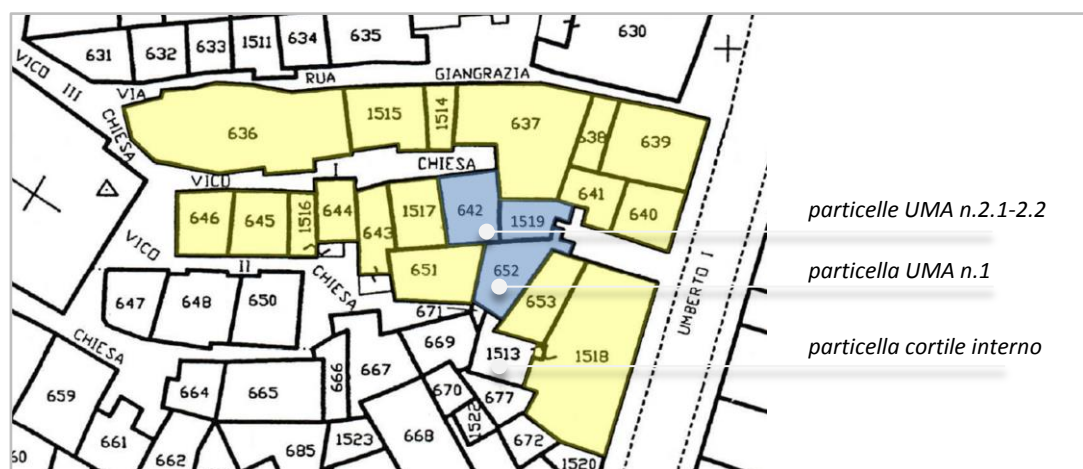
¹⁹ I rapporti di forma sono riconducibili alla Tabella XXXI del "Manuale dell'ingegnere civile e industriale", Hoepli, Milano 1890.

3 - Valutazione sismica dell'immobile

a- Indagine visiva

Da quanto emerso finora è possibile affermare che l'intero bene immobile sottoposto a esame appartiene a due specifiche unità strutturali, le cui maggiori condizioni distintive risiedono nella differente tipologia strutturale degli orizzontamenti.

La prima unità è racchiusa in un corpo riconducibile al solo ambiente abitato, delimitato da due mura di preminente funzione portante e due mura le cui funzioni appartengono anche ad altre unità strutturali. Il perimetro che disegna tale prima UMA ruota intorno a un affaccio su cortile interno e per il restante 70% intorno a setti murari di confine.



aggregato edilizio – particelle di proprietà [fonte: PEU, 2002]

La seconda unità minima d'analisi aggrega a dei locali di deposito un soppalco abitabile. L'intero disegno si raccoglie prevalentemente tra mura di confine. Gli unici tratti in cui l'UMA si definisce per mezzo di un cortile riguarda un lato del soppalco e l'ingresso ai locali-deposito.

In quest'ultima unità d'analisi coesistono due tecniche costruttive leggermente divergenti. Quasi tutti gli orizzontamenti ammettono un sistema di travi confinate in un disegno che tende a irrobustire l'intero manufatto, di contro, il soppalco mina questa visione d'insieme prediligendo un solaio meno rigido (con travi di quercia a vista).

L'insieme degli orizzontamenti confida in un sistema di aggancio ai setti murari di semplice appoggio, che consiste solamente nell'inserimento delle travi in apposite cavità. La loro costruzione non consente di ritenerle ammorsate efficacemente.

Gli stessi orizzontamenti ammettono anche una condizione statica particolare che ne migliora l'azione orizzontale. Nel punto di maggiore inflessione delle travi di solaio sono stati inseriti dei profili metallici del tipo IPE oppure, al caso, dei traversi di legno.

Questi elementi intervengono sulla struttura attenuando il grado di deformabilità dei solai, rendendoli pertanto capaci di un comportamento infinitamente rigido.

Spostando l'attenzione sui setti murari, si nota la loro natura fragile. Ogni setto murario si presenta confinato in un doppio paramento di media grossezza, privo di diatoni e solo in parte sottoposto a un'azione correttiva. Quest'ultima è presente sul lato del cortile interno e consiste nell'irrobustimento delle mura in appoggio alla parete dell'unità strutturale di confine.

b- Accorgimenti pratici per l'analisi

L'esito dell'indagine visiva consente di affermare che tutti gli impalcati sottoposti all'azione orizzontale ammettono un comportamento rigido nel loro piano.

Il soppalco in legno, in particolare, si mostra confinato in una zona delimitata da pareti quasi interamente cieche e a livello del terreno di fondazione. L'ultimo aspetto rilevato consente di affermare che lo schema dell'unità minima può considerare annullata la spinta sismica al piano.

L'unità minima n.2 è confinata in una maglia regolare, suddivisibile in due distinte sotto-unità. La prima (2.1) interessa gli ambienti delimitati dai setti ortogonali M5 e M6 (due piani fuori-terra). La seconda sotto-unità (2.2) è raccolta tra i setti ortogonali M6 e M7 (tre piani fuori-terra).

c- Analisi sismica in base alla normativa vigente

c.1- breve analisi statica

L'analisi dell'involucro edilizio richiede sempre un primo approccio statico, al fine di identificare il funzionamento dello schema portante e le eventuali carenze strutturali.

In quest'ordine d'idee intendo approntare un'analisi dei setti resistenti sottoposti a maggiore carico, e in alcuni casi valutati in aggregato (sotto l'azione congiunta di doppio solaio).

L'attenzione, dunque, è rivolta ai setti M1a, M1b, M2 (in aggregato), M5b, M6a (in aggregato) e M4b. Alcuni di questi prevedono un carico distribuito su una sezione in pianta molto rastremata (M5b, M6a, M4b). Quelli rimanenti manifestano una particolare connotazione, in ragione della loro posizione all'interno dell'aggregato edilizio e del peso di solaio aggiuntivo.

La valutazione è condotta applicando il metodo di analisi indicato nella circolare esplicativa del 2019 (§C4.5.6.2).²⁰ Segue una tabella che riassume i risultati dell'analisi:

MASCHI MURARI ESAMINATI [kN]						
azione N	M1a	M1b	M2 in aggregato	M5b ²¹	M6a in aggregato	M4b ²²
NSd	318	190	822	50	342	287
m (6e/t)	0.58	0.58	0.65	0.49	0.45	0.31
ϕ_1 ²³	0.68	0.68	0.66	0.72	0.82	0.83
NRd,rid	547	309	1180	270	373	378

NOTA: la resistenza a compressione è ottenuta comparando i dati della tabella C8.5.I della Circolare 2019 e quelli forniti dalla corrispondente tabella di Protoccolo_PER della Regione Molise ($\rightarrow 0.15/2 \cdot 1.35 = 0.05 \text{ kN/cm}^2$).

²⁰ Nella fase esplicativa dei calcoli è stata applicata una combinazione di carico agli stati limite ultimi (combinazione fondamentale). L'analisi consiste nel dimostrare quanto segue: $N_{S,d} \leq N_{R,d} = \phi_1 \cdot f_d \cdot (l \cdot t)$. La resistenza a compressione è ridotta di un coefficiente tabellato (tab.4.5.III delle NTC2018). L'analisi è condotta considerando ogni setto agente in modo isolato, attribuendo un valore unitario al fattore di efficacia del vincolo fornito dai muri ortogonali ($h_0 = \rho h = h$).

²¹ Il setto murario esaminato è posto sul fronte d'ingresso all'edificio, all'altezza del piano di deposito (categoria C/2). La sua altezza è idealizzata e lo stesso presenta un carico da solaio parziale (cedutogli da un profilo IPE160).

²² L'analisi si è concentrata sul setto murario che precede quello del locale-deposito, dove si riscontra un passaggio di spessore murario e lo stesso è caricato da una fascia di solaio (da profilo IPE180). Il setto sottostante si presta ad avere maggiore lunghezza e a essere scarico, da esame risulta pienamente verificato.

²³ Il coefficiente riduttivo dev'essere interpolato nel modo seguente: $y = y_0 + [(x - x_0)/(x_1 - x_0)] \cdot (y_1 - y_0)$.

c.2- introduzione ai dati di analisi sismica

L'analisi sismica è stata sviluppata considerando l'effettiva natura temporale dell'opera. Come tale l'edificio esistente ha richiesto un calcolo predeterminato dell'accelerazione di picco che la struttura esercita al suolo (in base alla località di riferimento). L'esito del calcolo ha permesso di identificare la vita nominale che si può attribuire all'edificio in condizione-limite di vita ($V_{N,SLV}$).

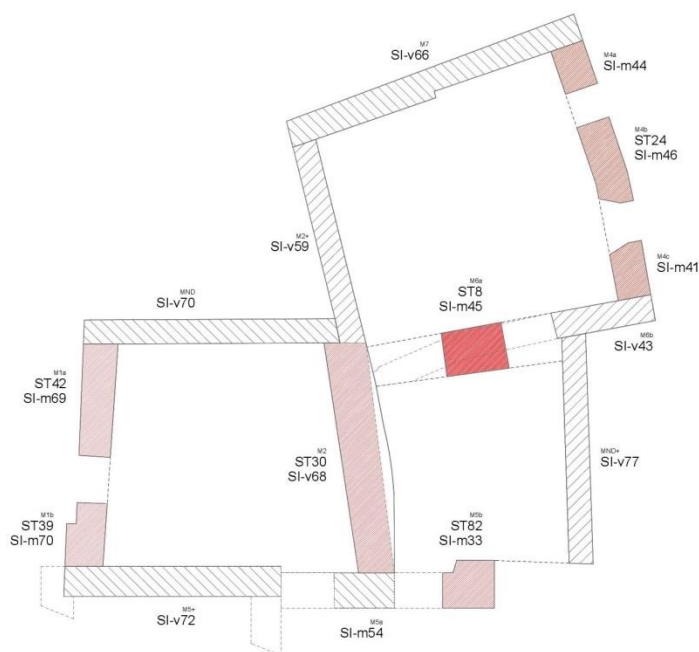
L'intera analisi numerica è presentata in un foglio di calcolo nominato All.AS (Allegato Analisi Sismica). L'analisi ha comportato anche la realizzazione di uno schema grafico che identifica i baricentri geometrici delle masse e delle rigidezze dei setti, distinto per unità d'analisi.

L'analisi sismica è condotta su un foglio di lavoro aggiuntivo, una copia in formato pdf è scaricabile dalla pagina home del sito <https://pciricillo.wixsite.com/bio-architetto>

c.3- grafica aggiuntiva

Le analisi possono essere combinate; con esse è possibile sviluppare un elaborato grafico in grado di mettere in risalto alcune condizioni aggiuntive. Dall'analisi statica si apprende che ogni setto murario possiede una capacità di resistenza portata a limite, o quasi, rispetto a quella che scaturisce dalle tre verifiche sismiche. Come conseguenza l'insieme dei dati offre una maggiore interpretazione del comportamento scatolare, sotto l'azione statico-dimensionale (N) e sismica (F).

Il seguente schema grafico produce un quadro generale sulle resistenze marginali (esprese in percentuale)²⁴. Queste resistenze permettono all'osservatore di mantenere attiva l'attenzione sulle effettive capacità del complesso murario.



²⁴ Il grafico prevede una legenda nella quale la "resistenza residua" - conservata dal setto murario - è associata per mezzo di una variazione cromatica. La grafica si avvale di una numerazione aggiuntiva inserita di fianco ad ogni setto, allo scopo di indicarne i valori di resistenza statica (ST) e sismica (SI). Tale resistenza è ottenuta applicando la proporzione tra i valori di analisi e le percentuali $[N_R: 100 = (N_R - N_S): x]$. La variazione cromatica considera il valore minimo tra quelli scaturiti dalle rispettive analisi. Nel caso dell'analisi sismica ci si avvale del min $[M_u; V_s]$ agenti nel piano del setto. In legenda appare SI-m oppure SI-v.

4- Linee Guida della Regione Molise

La Regione Molise ha pubblicato un Protocollo nel 2006 in merito agli interventi di consolidamento e ristrutturazione di opere private²⁵. Gli elaborati appartengono al Progetto Esecutivo di Ricostruzione (PER) Post-Sisma 2002/03.

Questi elaborati vengono in aiuto ai professionisti che operano nel settore in merito alle tecniche e alla legenda da adottare, allo scopo di far convergere entro un'unica metodica l'analisi documentativa dei casi da analizzare e da sottoporre a intervento.

Entro questa logica di campionamento e documentazione rimetto anche il lavoro che ho stilato nelle pagine precedenti. Segue pertanto una restituzione terminologica dei contenuti riguardanti l'opera esaminata:

U.M.A.	Setto	Tipo	Abaco-Molise	Definizione
1, 2.1, 2.2	M1-M7	I	B3	<i>Muratura a sacco in pietre di pezzatura più regolare, bene intessuta e priva di collegamento tra i due fogli; tipologia A con spigoli, mazzette e/o ricorsi in pietra squadrata o mattoni pieni.</i>
1	M5+	II	C2	<i>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura.</i>

La scheda riconosce due particolari tessiture murarie, una più vulnerabile dell'altra, che comunicano tra loro per mezzo di un aggregato edilizio confezionato in diverse fasi costruttive.

Entrando nel merito, l'allegato 3D intitolato MURATURE conferisce a entrambe le tessiture murarie un moderato grado di vulnerabilità. Il testo infatti ammette che:

"(..) i meccanismi di danneggiamento di questo tipo di muratura non determinano crolli sotto azioni di media intensità. I collassi sotto azioni di elevata intensità avvengono in maniera progressiva, e sono prevalentemente legati allo sviluppo di lesioni diagonali nel piano con dislocazioni eccessive di porzioni di muratura".

In merito, poi, alla descrizione degli elementi caratteristici della muratura il suddetto allegato stabilisce quanto esposto nella seguente tabella riassuntiva:

cod	Blocco lapideo	descrizione	cod	Legante	Descrizione
1.1	Materiale	2 – Calcare	2.1	Malta - Tipo	Calce idraulica
1.2	Lavorazione	Sbozzatura	2.2	Stato di conservazione	Friabile
1.3	Dimensioni (diagonale)	Medie (15 – 25 cm)	2.3	Funzione	Riempimento

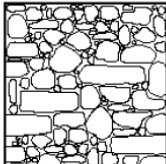
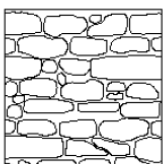
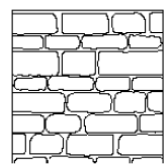
La tessitura muraria e ogni particolare significativo è contenuto nel book fotografico, presentato in un apposito allegato denominato All.Foto.

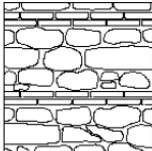
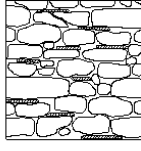
Le immagini confermano un tipo di tessitura muraria irregolare. La pietra calcarea di media-piccola dimensione in facciata è alternata da mattoni in laterizio o spezzoni dello stesso materiale (zeppe artigianali → codice CR).

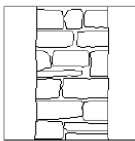
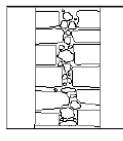
Questa trama costruttiva è prevista anche nell'allegato 3D (MURATURE). Il testo ne conferisce un'immagine di richiamo che ne ripete le fattezze generali.

²⁵ "linee di indirizzo per la progettazione e realizzazione degli interventi di riparazione funzionale, riattazione con miglioramento sismico, riparazione con miglioramento sismico e ricostruzione degli edifici pubblici e privati danneggiati dall'evento tellurico" [Ordinanza Commissariale 13/2003, CTS, Direttive per la ricostruzione di edifici privati in Molise – [vai alla pagina](#)].

APPARECCHIATURA

		
☐ disordinata	☒ corsi irregolari	☐ corsi orizzontali

Ricorsi o listatura:	☐ assenti	☐ in mattoni	☐ altro	Zeppe o scaglie:	☐ assenti	☐ in pietra	☒ in cotto
							

	
☐ paramento unico	☒ due paramenti accostati

L'allegato prosegue nell'identificazione delle caratteristiche di muratura chiedendo di esporre gli accorgimenti tecnici di consolidamento che l'opera può aver subito nel corso del tempo.²⁶

ALLA MURATURA			
☒ nessuno	☐ scuci-cuci in mattoni		☐ scuci-cuci in pietra
☐ stilatura dei giunti	☐ iniezioni di malta		☐ intonaco armato
AI COLLEGAMENTI			
☐ nessuno	☐ tamponatura di aperture	☐ collegamento travi	☐ catene
☐ cuciture armate	☐ cordoli in muratura	☐ cordoli in c.a.	☒ orizzontamenti rigidi

Infine le pareti non prevedono diatoni. Il raccordo tra pareti ortogonali ammette la presenza di alcune pietre che s'innestano di testa nella faccia dell'altro paramento murario. Su una faccia si riscontra anche la presenza di un ringrosso di parete, all'altezza di un punto di raccordo.

Le caratteristiche costruttive appena enunciate trovano conferma nei "codici" che la Regione Molise ha stilato in occasione dell'evento sismico del 2002 (allegato 3F):

C.3.1.1 – Strutture verticali			
B	Muratura a sacco con spigoli, mazzette, altro	C	Muratura in pietra sbazzata
C.3.1.2 – Malta			
Tipo	2	Idraulica	
Conservazione e consistenza	2	Friabile	
Funzione	1-2	Allettamento-Riempimento	

²⁶ Le unità minime 2.1 e 2.2 hanno previsto l'inserimento di profili metallici a doppio T (IPE, FE360), posizionati all'intradosso delle travi di sostegno dei solai e in prossimità della loro mezzera. L'intervento conferisce una maggiore capacità d'irrigidimento dell'impalcato, infatti limita la deformazione flessionale delle travi e ripartisce il carico anche in direzione ortogonale (la redistribuzione del carico migliora il comportamento scatolare, al pari di un intervento di cordolatura).

C.3.1.3 – Strutture orizzontali		C.3.1.4 – Strutture di Copertura	
A	Legno	P	Legno a spinta eliminata o travi orizzontali
F	Volte senza catene		
C.3.1.7 – Scale-Tipologia		C.3.1.8 – Presidi antisismici	
A	Struttura appoggiata in legno ²⁷	I	Copertura non spingente ²⁸
E	Struttura appoggiata in pietra o laterizi ²⁹	V	Ringrossi murari a scarpa

5- Interventi migliorativi

L'intera struttura portante esaminata confida in un complesso di setti resistenti adeguatamente dimensionati e di solai sufficientemente irrigiditi o irrobustiti da travi metalliche. L'edificio mostra alcune imperfezioni nel processo esecutivo delle travi lignee del soppalco. In esse, infatti, non sono state prese le dovute precauzioni per limitare l'ingresso di umidità alla testa delle travi. Come risultato almeno due travi mostrano uno stato avanzato di degrado.

IL SOPPALCO LIGNEO

L'intervento avvenuto intorno al 1950 ha comportato l'inserimento di un profilo metallico IPE 120 in prossimità dell'appoggio ammalorato, allo scopo di arretrare il punto di appoggio a muro.

Nel corso dello stesso intervento o entro una compagine storica ravvicinata, il soppalco ha subito anche un accoppiamento di travetti in legno distanziati sul fianco delle travi ammalorate.

Ad oggi l'intera parte soppalcata presenta un degrado diffuso, le travi menzionate sono da sostituire e i travetti non mostrano di possedere sufficiente elasticità flessionale. L'assito è molto degradato e almeno in prossimità di uno spigolo a muro (interrato) ha ceduto.

Questo genere d'intervento rientra nella casistica delle tipologie elencate negli allegati del Protocollo Post-Sisma 2002/03 (allegato 3B1).

La tecnica prevede *“Sostituzione di solaio di piano ..e di copertura.. con solaio () ligneo”*.

SOLAIO RUSTICO A DOPPIO TAVOLATO

Nel caso in oggetto si cerca di recuperare il solaio rustico, sostituendo le travi ammalorate e i travetti con nuove travi arrotondate (eventualmente scortecciate) della stessa specie legnosa o affine e prevedendo un adeguato accorgimento di posa in opera.

In particolare occorre impiegare delle travi con un livello di umidità affine a quello che si riscontra in loco. Le travi, infatti, si trovano confinate in un ambiente tendenzialmente umido e poco arieggiato. La testa delle travi dev'essere arretrata o adeguatamente isolata nel caso occorra ammorsarla alla parete. L'assito rimosso è interamente sostituito con un nuovo assito incrociato (doppio tavolato).

²⁷ Raccordo verticale interno che mette in comunicazione il piano interrato (locale adibito a magazzino) con il piano soppalcato (adibito ad abitazione).

²⁸ Sistema non spingente, costituito da travi in legno portanti e da travi ortogonali (traversi) che aumentano la stabilità e il comportamento scatolare delle mura di contorno.

²⁹ Raccordo verticale esterno, che mette in comunicazione il cortile con i pianerottoli (intermedio e di arrivo) dei locali adibiti a magazzino e dell'abitazione. La scala poggia su un ringrosso delle mura del piano terra ed è provvista di una volta a botte sotto il pianerottolo di arrivo.

L'intervento sul solaio rustico dev'essere concepito come migliorativo in quanto non interviene nel calcolo della spinta sismica. La sua posizione all'interno dell'unità d'analisi n.2.2 coincide con quella del piano di fondazione.³⁰

LA COPERTURA A FALDA UNICA

Le travi di copertura appaiono in buono stato di conservazione, l'assito non presenta difetti evidenti e una guaina impermeabile (forse riconducibile a un intervento più recente) divide questo spessore dal manto di rivestimento in coppi.

La prassi richiede ugualmente una revisione di dettaglio, che può essere condotta all'esterno. In particolare può risultare utile svestire ed esaminare gli appoggi che mostrano alcune imperfezioni, controllare/rifare la guaina e confezionare da nuovo (con recupero di materiale) il manto di rivestimento.

LA PARETE DEL CORTILE INTERNO

L'abitazione affaccia su un cortile interno, dal lato dell'attuale stanza adibita a camera matrimoniale. La parete che separa l'ambiente abitato dal cortile prevede della pietra a tessitura irregolare priva d'intonaco. L'analisi ha dimostrato che i setti resistenti che la costituiscono (M1a, M1b) verificano ai sistemi di collasso, ciò nonostante la malta può risentire dell'umidità e degli agenti atmosferici che si riversano su queste facce.

Per impedire un possibile dilavamento della malta ed un eventuale espulsione di materiale dal paramento esterno, può risultare utile applicare sulla faccia un intonaco che ne preserva lo stato attuale. In alternativa può essere utile riallettare la malta dei giunti.

³⁰ Tre delle quattro mura di confine sono interamente interrato e come tali tendono ad avere un comportamento affine a quello della fondazione.

Bibliografia

Testi storici

- I. *“Della Architettura di Leon Battista Alberti”* a cura di Cosimo Bartoli, Libro dieci, Milano, 1833;
- II. *“Istituzioni di architettura, statica e idraulica”* a cura di N. Cavalieri, volume II, Negretti editore, Milano, 1853;
- III. *“Trattato sulle costruzioni in legno”* a cura dell'ing. L. Mazzocchi, Vallardi editore, Milano, 1879;
- IV. *“Manuale dell'ingegnere civile e industriale”* a cura dell'ing. G. Colombo, Hoepli, Milano, 1890.

[<http://books.google.com>]

Testi attuali

- V. *“Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura”*, a cura dell'ing. M. Vinci, Dario Flaccovio Editore, II ristampa, marzo 2021.

Manuali

Manuale dell'architetto, volume II, edizione 2013

[Tav. D5.13]

Normativa

Norma Tecnica sulle Costruzioni, 2018

Circolare esplicativa, 2019

[C4.5.6.2; C8.5.3.1; C8.5.5.1; C8.7.1]

Collegamenti in rete

Abaco delle murature, Regione Toscana

Protocollo Post-Sisma 2002/03, Regione Molise

sito <http://www.abacomurature.it>

sito <http://www.regione.molise.it>