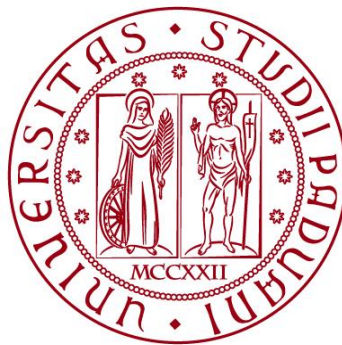


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Tecniche e Gestione dell'Edilizia e del Territorio



TESI DI LAUREA

**PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE DI UN
FABBRICATO STORICO SITO A NERVESA DELLA BATTAGLIA**

*STRUCTURAL CONSOLIDATION PROJECT OF A HISTORIC BUILDING
LOCATED IN NERVESA DELLA BATTAGLIA*

Relatore: Chiar.mo PROF. FILIPPO ANDREOSE

Laureando: GABRIELE VIDORIN

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Abstract

The recovery of the existing building stock is one of the current fundamental issues and will be even more so in the future both for economic reasons given the trend of the real estate market and the scarcity of building areas and for technical reasons, given the need to adapt the buildings to the new project actions envisaged by the current construction legislation.

In this case study this theme will be dealt with through the evaluation of the recovery of a building of historical-artistic character in the historic center of Borgo Sovilla, in the Municipality of Nervesa della Battaglia.

In order to carry out an in-depth analysis of the evaluation of its recovery, it will be carried out through a visual investigation of the detailed evaluation of the building, following the analysis model from the current legislation on constructions D.M. 17/01/2018.

So, it will be an initial phase of analysis-critical of the historical documentation collected, including technical reports on the structural and completed interventions, also useful for the graphic reconstruction of the complex, followed by the consultation of the technical standards and the constructions on the relative urban plans. rules on the recovery of historic buildings.

Subsequently we will proceed with the collection of the metric data of the building, following the geometric-structural survey phase together with a photographic survey, useful for the graphic reconstruction of the structural parts and the internal and external architectural parts, with the description of their state of conservation and the evaluation of their recovery.

Once all the geometric data of the structures have been obtained, we will proceed with the calculation of the project actions following the current construction regulations and then with the structural checks of the load-bearing elements.

Finally, having a complete picture of the current factory situation of the recovery of the building, followed by the definition of structural consolidation interventions to secure the building.

Riassunto

Il recupero del patrimonio edilizio esistente è uno dei temi fondamentali attuali e lo sarà ancor di più in futuro sia per motivi di carattere economico visto l'andamento del mercato immobiliare e la scarsità di aree edificabili e sia per motivi di carattere tecnico, vista la necessità di adeguare gli edifici alle nuove azioni di progetto previste dalla normativa sulle costruzioni vigente.

In questo caso studio si tratterà questo tema tramite la valutazione di recupero di un fabbricato di carattere storico-artistico del centro storico del Borgo Sovilla, nel Comune di Nervesa della Battaglia.

Per poter procedere ad un'analisi approfondita di valutazione del suo recupero si effettuerà tramite un'indagine visiva dettagliata una valutazione della sicurezza dell'edificato, seguendo il modello di analisi descritto dalla normativa vigente sulle costruzioni del D.M. 17/01/2018.

Quindi si tratterà di una fase iniziale di analisi storico-critica della documentazione raccolta, tra cui relazioni tecniche sugli interventi strutturali e architettonici effettuati, utili anche per la ricostruzione grafica del complesso, seguita dalla consultazione delle norme tecniche sulle costruzioni, dei piani urbanistici e le relative norme in materia di recupero dei fabbricati storici.

Successivamente si procederà con la raccolta dei dati metrici dell'edificato, in seguito alla fase di rilievo geometrico-strutturale insieme ad anche un rilievo fotografico, utili per la ricostruzione grafica delle parti strutturali e le parti architettoniche interne ed esterne, con la descrizione del loro stato conservativo e la valutazione del loro recupero.

Ottenuti tutti i dati geometrici delle strutture si procederà con il calcolo delle azioni di progetto seguendo la normativa sulle costruzioni vigente, per poi passare alle verifiche strutturali degli elementi portanti.

Infine, avendo un quadro completo della situazione attuale del fabbricato storico si potrà procedere con una valutazione del recupero del fabbricato, seguita dalla definizione degli interventi di consolidamento strutturale per mettere in sicurezza l'edificato.

Indice

Elenco delle figure	Pag. 9
Elenco delle foto	Pag. 13
Elenco delle tabelle	Pag. 15
Introduzione	Pag. 17
1. Analisi storico-critica del fabbricato	Pag. 21
1.1. Inquadramento storico-geografico	Pag. 22
1.2. Inquadramento urbanistico	Pag. 33
2. Rilievo geometrico-strutturale	Pag. 35
2.1. Caratteristiche strutturali	Pag. 36
2.1.1. Fondazioni in muratura	Pag. 36
2.1.2. Pareti in muratura portante	Pag. 37
2.1.3. Solai in legno	Pag. 38
2.1.4. Copertura in legno	Pag. 46
2.2. Caratteristiche architettoniche	Pag. 52
2.2.1. Scale interne	Pag. 52
2.2.2. Pavimentazione	Pag. 54
2.2.3. Facciate	Pag. 54
3. Caratterizzazione meccanica dei materiali	Pag. 59
3.1. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	Pag. 59
3.2. Determinazione delle resistenze di progetto	Pag. 60

4. Valutazione delle azioni	Pag. 69
4.1. Azioni verticali	Pag. 69
4.2. Combinazione dei carichi	Pag. 76
5. Verifiche agli stati limite dei solai lignei in condizioni attuali	Pag. 79
5.1. Parametri di sollecitazione	Pag. 79
5.2. Verifica agli stati limite ultimi	Pag. 83
5.2.1. Verifica a flessione	Pag. 83
5.2.2. Verifica al taglio	Pag. 86
6. Valutazione interventi di consolidamento strutturale	
6.1. Interventi sulle fondazioni	Pag. 89
6.1.1. Lavori di scavo	Pag. 89
6.1.2. Iniezioni di resine impermeabilizzanti	Pag. 90
6.1.3. Opere di sottofondazione	Pag. 90
6.2. Interventi sulla muratura portante	Pag. 92
6.2.1. Demolizione intonaci interni ed esterni	Pag. 92
6.2.2. Rifacimento intonaco esterno	Pag. 92
6.2.3. Realizzazione intonaco armato interno	Pag. 93
6.2.4. Iniezione di miscele leganti	Pag. 95
6.3. Interventi sui solai in legno	Pag. 97
6.3.1. Demolizione pavimentazioni e tavolato	Pag. 97
6.3.2. Risanamento travatura lignea	Pag. 97
6.3.3. Realizzazione soletta collaborante	Pag. 99
6.4. Interventi generali a livello globale sul fabbricato	Pag. 101
6.4.1. Interventi strutturali generali	Pag. 101
6.4.2. Interventi di miglioramento termoacustico	Pag. 108
6.4.3. Interventi di miglioramento del comfort nei locali interni	Pag. 109
6.4.4. Interventi di ripristino delle facciate	Pag. 112
Conclusioni	Pag. 117
Bibliografia	Pag. 119

Elenco delle figure

1.1.1	Inquadramento satellitare dell'area oggetto di studio - Google Earth [3]	Pag. 24
1.1.2	Pianta piano terra – Stato di fatto	Pag. 25
1.1.3	Pianta piano primo – Stato di fatto	Pag. 25
1.1.4	Pianta piano secondo – Stato di fatto	Pag. 26
1.1.5	Prospetto Nord – Stato di fatto	Pag. 26
1.1.6	Prospetto Ovest – Stato di fatto	Pag. 27
1.1.7	Prospetto Sud – Stato di fatto	Pag. 28
1.1.8	Pianta piano terra blocco D – Stato di progetto	Pag. 29
1.1.9	Prospetto Nord blocco D – Stato di progetto	Pag. 29
1.1.10	Pianta unità Est – Stato pre-intervento	Pag. 31
1.1.11	Pianta copertura unità est – Stato di progetto	Pag. 31
1.2.1	Estratto tavola della zonizzazione del Piano degli Interventi [4]	Pag. 33
2.1.1	Sezione tipo fondazione e muratura – Sezione trasversale	Pag. 36
2.1.2	Pianta solaio piano terra dei blocchi A,B,C – Stato di fatto	Pag. 39
2.1.3	Pianta solaio piano terra dei blocchi D,E,F – Stato di fatto	Pag. 40
2.1.4	Pianta solaio piano primo dei blocchi A,B,C – Stato di fatto	Pag. 40
2.1.5	Pianta solaio piano primo dei blocchi D,E,F – Stato di fatto	Pag. 41
2.1.6	Particolare costruttivo Solaio tipologia 1 – Sezione trasversale - Stato di fatto	Pag. 41
2.1.7	Particolare costruttivo Solaio tipologia 1 – Sezione longitudinale – Stato di fatto	Pag. 42
2.1.8	Particolare costruttivo Solaio tipologia 2 – Sezione trasversale – Stato di fatto	Pag. 42
2.1.9	Particolare costruttivo Solaio tipologia 2 – Sezione longitudinale – Stato di fatto	Pag. 43

2.1.10	Particolare costruttivo Solaio tipologia 3 – Sezione trasversale – Stato di fatto	Pag. 43
2.1.11	Particolare costruttivo Solaio tipologia 3 – Sezione longitudinale - Stato di fatto	Pag. 44
2.1.12	Particolare costruttivo Trave rompitratta - Sezione trasversale - Stato di fatto	Pag. 45
2.1.13	Particolare costruttivo Trave rompitratta - Sezione longitudinale - Stato di fatto	Pag. 45
2.1.14	Pianta copertura dei blocchi A,B,C – Stato di fatto	Pag. 47
2.1.15	Pianta copertura dei blocchi D,E,F – Stato di fatto	Pag. 47
2.1.16	Particolare costruttivo Copertura tipologia 1 – Sezione trasversale – Stato di fatto	Pag. 48
2.1.17	Particolare costruttivo Copertura tipologia 2 – Sezione trasversale – Stato di fatto	Pag. 49
2.1.18	Sezione trasversale del blocco A – Stato di fatto	Pag. 51
2.1.19	Sezione trasversale del blocco B – Stato di fatto	Pag. 51
2.1.20	Sezione trasversale del blocco C – Stato di fatto	Pag. 51
2.1.21	Sezione trasversale del blocco D – Stato di fatto	Pag. 51
2.1.22	Sezione trasversale del blocco E – Stato di fatto	Pag. 51
2.1.23	Sezione trasversale del blocco F – Stato di fatto	Pag. 51
3.2.1	Schema dell’orientamento di una trave in legno generica – NTC 2018 [5]	Pag. 65
3.2.2	Grafico sforzo-deformazione di un generico provino in legno – NTC 2018 [5]	Pag. 65
4.1.1	Travetti del solaio tipo 1 del blocco B del piano terra	Pag. 70
4.1.2	Sezione trasversale Travetto 1	Pag. 70
4.1.3	Travetti del solaio tipo 2 del blocco D del piano primo	Pag. 71
4.1.4	Sezione trasversale Travetto 2	Pag. 71
4.1.5	Travetti del solaio tipo 3 del blocco E del piano primo	Pag. 72
4.1.6	Sezione trasversale Travetto 3	Pag. 72
4.1.7	Trave rompitratta del solaio del blocco D del piano primo	Pag. 73
4.1.8	Sezione trasversale Trave 1	Pag. 74
4.1.9	Trave rompitratta del solaio del blocco E del piano terra	Pag. 75

4.1.10	Sezione trasversale Trave 2	Pag. 75
5.1.1	Schema statico trave semplicemente appoggiata	Pag. 80
5.2.1	Distribuzione delle tensioni interne di una sezione trasversale	Pag. 84
6.1.1	Particolare costruttivo opere di sottofondazione con ammorsamento – Sezione trasversale – Stato di progetto	Pag. 91
6.2.1	Esempio di rinforzo strutturale con intonaco armato – Tradimalt [11]	Pag. 94
6.2.2	Esempi di posizionamento dei bocchigli d’iniezione – Yume srl [12]	Pag. 95
6.3.1	Esempio di collegamento tramite connettori dei due solai legno – c.a.	Pag. 99
6.3.2	Comportamento scatolare della muratura portante	Pag. 100
6.3.3	Esempio esemplificativo della deformabilità nel piano del solaio ligneo	Pag. 100
6.4.1	Particolare incrocio solaio muratura – Sezione trasversale – Stato di progetto	Pag. 101
6.4.2	Particolare incrocio solaio muratura – Sezione longitudinale – Stato di progetto	Pag. 102
6.4.3	Pianta solaio piano terra dei blocchi A,B,C – Stato di progetto	Pag. 104
6.4.4	Pianta solaio piano terra dei blocchi D,E,F – Stato di progetto	Pag. 104
6.4.5	Pianta solaio piano primo dei blocchi A,B,C – Stato di progetto	Pag. 105
6.4.6	Pianta solaio piano primo dei blocchi D,E,F – Stato di progetto	Pag. 105
6.4.7	Pianta copertura dei blocchi A,B,C – Stato di progetto	Pag. 106
6.4.8	Pianta copertura dei blocchi D,E,F – Stato di progetto	Pag. 106
6.4.9	Sezione trasversale del blocco A – Stato di progetto	Pag. 107
6.4.10	Sezione trasversale del blocco B – Stato di progetto	Pag. 107
6.4.11	Sezione trasversale del blocco C – Stato di progetto	Pag. 107
6.4.12	Sezione trasversale del blocco D – Stato di progetto	Pag. 107

6.4.13	Sezione trasversale del blocco E – Stato di progetto	Pag. 107
6.4.14	Sezione trasversale del blocco F – Stato di progetto	Pag. 107
6.4.15	Pianta piano terra – Stato di progetto	Pag. 110
6.4.16	Pianta piano primo – Stato di progetto	Pag. 111
6.4.17	Pianta piano secondo – Stato di progetto	Pag. 111
6.4.18	Prospetto Nord – Stato di progetto	Pag. 112
6.4.19	Prospetto Ovest – Stato di progetto	Pag. 113
6.4.20	Prospetto Sud – Stato di progetto	Pag. 113
6.4.21	Foto-inserimento Prospetto Nord – Stato di progetto	Pag. 114
6.4.22	Foto-inserimento Prospetto Nord-Ovest – Stato di progetto	Pag. 115

Elenco delle foto

1.1.1	Prospetto Nord – Stato attuale	Pag. 26
1.1.2	Prospetto Nord-Ovest – Stato attuale	Pag. 27
1.1.3	Prospetto Sud-Ovest – Stato attuale	Pag. 27
1.1.4	Prospetto Sud – Stato attuale	Pag. 28
1.1.5	Solaio piano terra blocco D – Stato post-intervento	Pag. 30
1.1.6	Prospetto Nord blocco D - Stato post-intervento	Pag. 30
1.1.7	Prospetto Nord - Stato pre-intervento	Pag. 30
1.1.8	Prospetto Sud - Stato pre-intervento	Pag. 30
1.1.9	Copertura unità Est – Stato post-intervento	Pag. 32
1.1.10	Segni della travatura antecedente all'intervento di modifica della copertura al blocco F – Stato post-intervento	Pag. 32
2.1.1	Fondazione tipo facciata Ovest – Stato attuale	Pag. 37
2.1.2	Fondazione tipo facciata Ovest – Stato attuale	Pag. 37
2.1.3	Esempio di tiranti metallici facciata Nord	Pag. 38
2.1.4	Tessitura muraria agli incroci tra pareti ortogonali – Stato attuale	Pag. 38
2.1.5	Tessitura paramento murario – Stato attuale	Pag. 38
2.1.6	Esempio Solaio tipologia 1 al piano terra del blocco B – Stato attuale	Pag. 42
2.1.7	Esempio Solaio tipologia 2 al piano primo del blocco D – Stato attuale	Pag. 43
2.1.8	Esempio Solaio tipologia 3 al piano primo del blocco E – Stato attuale	Pag. 44
2.1.9	Trave rompitratta al piano primo del blocco D – Stato attuale . . .	Pag. 46
2.1.10	Trave rompitratta al piano terra del blocco E – Stato attuale	Pag. 46
2.1.11	Esempio Copertura tipologia 1 del blocco A – Stato attuale	Pag. 48
2.1.12	Esempio Copertura tipologia 1 del blocco B – Stato attuale	Pag. 48

2.1.13	Esempio di incrocio travetto - cordolo di coronamento copertura Est – Stato attuale	Pag. 49
2.1.14	Esempio Copertura tipologia 2 del blocco D – Stato attuale	Pag. 50
2.1.15	Esempio Copertura tipologia 2 del blocco F – Stato attuale	Pag. 50
2.2.1	Scale interne al piano terra del blocco F – Stato attuale	Pag. 52
2.2.2	Scale interne al piano terra del blocco A - Stato attuale	Pag. 53
2.2.3	Particolari architettonici delle scale interne al piano terra del blocco A – Stato attuale	Pag. 53
2.2.4	Scale interne al piano primo del blocco F – Stato attuale	Pag. 53
2.2.5	Scale interne al piano primo del blocco C – Stato attuale	Pag. 53
2.2.6	Pavimentazione “alla veneziana” al piano primo del blocco B – Stato attuale	Pag. 54
2.2.7	Balcone facciata Ovest – Stato attuale	Pag. 55
2.2.8	Esempio di cornicione con rosette dipinte – Stato attuale	Pag. 55
2.2.9	Facciata Sud unità Est – Stato attuale	Pag. 56
2.2.10	Balcone facciata Sud del blocco B – Stato attuale	Pag. 56
2.2.11	Balcone facciata Nord del blocco B – Stato attuale	Pag. 57
2.2.12	Balcone facciata Nord del blocco E – Stato attuale	Pag. 57
6.1.1	Esempio di sottofondazione con ammorsamento all’esistente – Arcangeli Tullio [8]	Pag. 91
6.2.1	Esempio di fissaggio di un connettore con “fazzoletto” – EdilTecnico [10]	Pag. 94
6.2.2	Esempio di iniezione di boiaccia su muratura – Yume srl [12]	Pag. 96
6.3.1	Esempio di stuccatura di resine epossidiche su trave lignea – Edilsystem [13]	Pag. 98
6.4.1	Prospetto Nord – Stato attuale	Pag. 113
6.4.2	Prospetto Nord-Ovest – Stato attuale	Pag. 114

Elenco delle tabelle

3.2.1	Valori caratteristici delle proprietà fisiche del legno di conifera – Tab.1 EN 338-2016 [7]	Pag. 62
3.2.2	Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali - Tab.4.4.III NTC 2018 [5]	Pag. 63
3.2.3	Classi di durata del carico – Tab.4.4.I NTC 2018 [5]	Pag. 63
3.2.4	Classi di servizio – Tab.4.4.II NTC 2018 [5]	Pag. 64
3.2.5	Valori di K_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno – Tab.4.4.IV NTC 2018 [5]	Pag. 64
3.2.6	Calcolo dei valori di progetto per ogni sezione da verificare	Pag. 66
4.1.1	Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 1	Pag. 70
4.1.2	Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 2	Pag. 71
4.1.3	Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 3	Pag. 72
4.1.4	Calcolo delle azioni caratteristiche della Trave 1	Pag. 73
4.1.5	Calcolo delle azioni caratteristiche della Trave 2	Pag. 74
4.2.1	Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU – Tab.2.6.I NTC 2018 [5]	Pag. 76
4.2.2	Valori dei coefficienti di combinazione – Tab.2.5.I NTC 2018 [5]	Pag. 77
5.1.1	Valori delle azioni di progetto Combinazione I	Pag. 81
5.1.2	Valori delle azioni di progetto Combinazione II	Pag. 81
5.1.3	Valori delle sollecitazioni interne di ogni elemento da verificare Combinazione I	Pag. 82
5.1.4	Valori delle sollecitazioni interne di ogni elemento da verificare Combinazione II	Pag. 82
5.2.1	Verifica a flessione degli elementi lignei Combinazione I	Pag. 85
5.2.2	Verifica a flessione degli elementi lignei Combinazione II	Pag. 85
5.2.3	Verifica al taglio degli elementi lignei Combinazione I	Pag. 87
5.2.4	Verifica al taglio degli elementi lignei Combinazione II	Pag. 87

Introduzione

Il problema del recupero del patrimonio edilizio esistente, inteso come quel complesso di interventi atti a trasformare e conservare le strutture, insieme con il miglioramento prestazionale dell'intero edificio, è uno dei temi fondamentali attuali e lo sarà ancor di più in futuro, per motivi di carattere economico, tecnico e culturale.

Per motivi di carattere economico perché, vista la situazione dell'attuale andamento del mercato immobiliare, la scarsità di aree edificabili e le limitazioni che riguardano il consumo di suolo, ci si concentra principalmente nel recupero dei fabbricati esistenti, anche di carattere storico, tramite interventi di ristrutturazione edilizia, restauro conservativo e riqualificazione energetica, anche per una rinnovata attenzione verso un più razionale impiego delle risorse. Inoltre, si è spinti anche dalle agevolazioni fiscali tramite dei bonus edilizi per chi avesse l'obiettivo di recuperare dei fabbricati esistenti migliorandone le sue prestazioni strutturali, antisismiche e termoacustiche.

Per motivi di carattere tecnico, perché è necessario adeguare gli edifici esistenti alle nuove azioni di progetto previste dalla normativa sulle costruzioni vigente, tramite degli interventi di ristrutturazione, che dovranno essere accompagnati da un effettivo aumento delle prestazioni dell'edificio in termini di sicurezza e idoneità strutturale e antisismica, unitamente al risparmio energetico e al miglioramento del comfort termoacustico. Oltre a questo, il problema principale sta nel combinare le tecniche altamente prestazionali delle recenti tecnologie, con l'esigenza di tutelare e valorizzare le particolarità storiche-architettoniche del manufatto edilizio esistente, conservandone l'identità e il suo valore storico intrinseco.

In questa tesi si tratterà il tema del recupero del patrimonio edilizio esistente attraverso la valutazione della sicurezza di un fabbricato di importanza storico-artistica sito a Nervesa della Battaglia e la definizione di soluzioni per degli interventi di consolidamento statico e antisismico sull'organismo strutturale, con l'obiettivo del raggiungimento dell'idoneità strutturale e antisismica secondo la normativa e le esigenze attuali.

Tale elaborato è stato sviluppato in seguito al lavoro di valutazione di recupero del fabbricato durante l'esperienza come tirocinante, presso uno studio tecnico di geometri professionisti, prevista nel piano di studi universitario. Durante la fase di rilievo, avendo il ruolo di disegnatore per la parte di restituzione grafica e progettuale, ottenuto il consenso da parte dei proprietari dell'immobile e dello studio tecnico, si sono potuti raccogliere i dati necessari per sviluppare un progetto di consolidamento delle strutture, utilizzando anche le ipotesi progettuali per gli interventi da realizzare, proposte dal geometra titolare dello studio e dall'ingegnere incaricato.

La definizione e la valutazione degli interventi di recupero da effettuare su tale fabbricato dovrà esser preceduta da un'analisi dettagliata per determinare il grado di sicurezza in base al livello di degrado, obsolescenza e inadeguatezza dell'edificio, attraverso una comprensione profonda delle particolarità, delle caratteristiche strutturali e architettoniche utilizzando la documentazione storico-tecnica disponibile e soprattutto tramite indagini visive dettagliate per ricostruire l'evoluzione del fabbricato e le trasformazioni che ha subito.

Avendo un quadro completo delle condizioni attuali del fabbricato si potranno definire delle soluzioni di intervento di consolidamento sulle parti strutturali, oltre ad interventi di risanamento e recupero delle parti architettoniche, utilizzando materiali e tecnologie affidabili e durevoli, ma anche rispettosi dell'oggetto edilizio esistente.

Secondo quanto riportato nel D.M. 17/01/18 "Aggiornamento per le Norme Tecniche per le Costruzioni" (N.T.C) la valutazione della sicurezza di un fabbricato esistente permette di stabilire se l'uso della costruzione possa continuare senza interventi, se l'uso debba essere modificato con declassamento, cambio di destinazione, imposizioni di limitazioni e cautele nell'uso e se sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi di riparazione locale, di miglioramento e di adeguamento.

In generale la valutazione del livello di sicurezza degli edifici esistenti deve essere eseguita nel caso di riduzione della capacità resistente e deformativa della struttura dovuta al significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche, causa problemi in fondazione in relazione anche alla geologia della zona, a danneggiamenti prodotti da azioni ambientali, come ad esempio sisma, vento e neve, e da azioni eccezionali come urti, incendi ed esplosioni. Oltre a questo, anche nel caso in cui si siano realizzate delle opere in difformità dal progetto e quindi dal titolo abitativo e dalle norme tecniche sulle

costruzioni vigenti. Oppure si verifica nella situazione in cui ci sia un cambio d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e passaggio ad una classe d'uso superiore. Infine, tale valutazione si attua nel caso in cui si eseguano interventi non strutturali, ma che interagiscano con elementi aventi funzione strutturale e ne riducano la capacità e ne modifichino la rigidità, e nel caso si eseguano interventi strutturali locali di riparazione, di miglioramento e di adeguamento.

In tutto ciò, i principali obiettivi del presente elaborato sono i seguenti:

- La consultazione di tutta la documentazione raccolta, tra cui le relazioni tecniche degli interventi strutturali e architettonici realizzati sul fabbricato ottenendo dati sui materiali e dati metrici utili anche per la restituzione grafica e la ricostruzione dei particolari costruttivi, le norme tecniche sulle costruzioni aggiornate, i piani urbanistici e le relative norme;
- La raccolta dei dati geometrici e fisici degli elementi strutturali e architettonici del fabbricato e i materiali che li compongono, in seguito ai vari rilievi strumentali e fotografici eseguiti sul posto, con restituzione grafica del rilievo e ricostruendo il modello grafico del fabbricato, con piante, sezioni, prospetti e particolari costruttivi;
- La determinazione delle resistenze di progetto utilizzando i parametri forniti dalla normativa sulle costruzioni vigenti e i dati raccolti dalla documentazione storico-tecnica e dai rilievi geometrici;
- La determinazione delle azioni di progetto utilizzando i dati metrici delle strutture e facendo riferimento alle norme tecniche per le costruzioni vigenti;
- La verifica agli stati limite ultimi dei solai in legno in condizioni attuali pre-intervento per valutare l'intervento di consolidamento strutturale, con possibile recupero delle parti portanti;
- La valutazione e definizione degli interventi di consolidamento da realizzare sull'organismo strutturale, quindi ci si concentrerà sulle fondazioni, sulle pareti in muratura portante e sui solai in legno, per mettere in sicurezza il fabbricato, oltre anche a degli interventi a livello globale che terranno conto del comfort termoacustico e dell'ergonomia dei locali interni dell'immobile.

Di seguito, per ogni capitolo, si svilupperanno tutte le fasi della valutazione della sicurezza dello stato attuale seguita da una valutazione delle misure da adottare per mettere in sicurezza l'edificato fino ad ottenere delle soluzioni di intervento definitive.

Capitolo 1

Analisi storico-critica del fabbricato

La conoscenza della storia di un fabbricato è un elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.

L'analisi storico-critica deve essere finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In tal senso l'indagine storica diventa indagine critica e fonte di documentazione e conoscenza finalizzate all'interpretazione del comportamento strutturale.

L'analisi inizia con il reperire tutti i documenti disponibili sulle origini del fabbricato come, ad esempio elaborati e relazioni progettuali partendo dalla prima realizzazione della costruzione e riguarda:

- L'epoca di costruzione del fabbricato;
- Le tecniche e le regole costruttive dell'epoca di costruzione;
- Gli aspetti urbanistici e storici che hanno regolato lo sviluppo dell'edificio;
- La forma originaria e le successive modifiche;
- I traumi subiti in seguito ad eventi eccezionali;
- Le deformazioni e i dissesti;
- Gli interventi di consolidamento subiti.

1.1. Inquadramento storico-geografico

Il complesso storico oggetto di studio ha un certo valore storico, artistico e tipologico e si individua lungo Via Lasinio nel centro storico del Borgo Sovilla di Nervesa della Battaglia, un piccolo comune della provincia di Treviso situato tra le pendici della fascia sud-est del Montello e in adiacenza ad est al fiume Piave.

Per quanto riguarda l'origine storica del paese, la prima citazione documentale del nome di Nervesa (Nervisia) risale ad una bolla imperiale risalente al 954 d.c. attestante l'avvenuta donazione del territorio da parte dell'imperatore Ottone III ai conti imperiali di Treviso poi divenuti Conti di Collalto. È da qui che inizia la storia scritta di Nervesa, legata ai Conti di Collalto, ai possedimenti, al castello dominante la pianura posizionato sulle colline di Susegana, all'Abbazia di S. Eustachio di Nervesa e alla Certosa del Montello. A questo paese si attesta anche la presenza romana, visto il ritrovamento di un sito collocato in posizione predominante e quindi molto probabilmente fortilizio romano a difesa del territorio in cui gli agrimensori romani costruirono il contesto agricolo durante il I° sec. d.c. denominato centuriazione nord di Treviso. L'abbazia di S. Eustachio, fondata durante la prima metà dell'undicesimo secolo possiede una lunga storia di cultura che finirà sostanzialmente con la campagna Napoleonica d'Italia nei primi anni dell'Ottocento, ma definitiva e distruttiva fu la Prima guerra mondiale con i risultati che ancor oggi si possono osservare.

Il paese di Nervesa venne completamente distrutto durante la Prima guerra mondiale, essendo situato sulla linea del fronte nel corso della battaglia del Piave svoltasi nel 1918. Durante il fascismo venne aggiunto "della Battaglia" al nome ufficiale del comune, in ricordo degli avvenimenti.

Ritornando invece al fabbricato oggetto di studio, originariamente era un palazzo padronale di campagna edificato nel 1592 dalla nobile famiglia Bonaparte – Lasinio, già proprietaria del Castell' Viero, antica torre presente nel Montello, di cui oggi non rimane traccia evidente, perché fatto demolire per ordine diretto dalla Repubblica di Venezia che intendeva mantenere un controllo totale sul bosco del Montello, fonte di pregiato

legname, di conseguenza anche la famiglia Lasinio, pur mantenendo i propri privilegi, dovette provvedere a costruire una nuova residenza nella zona di Sovilla.

Osservando la Figura 1.1, attualmente il complesso storico di 3 piani è diviso in due unità principali in base alla destinazione d'uso.

Nella parte più ad est i locali interni attualmente sono disabitati e inutilizzati, sono stati utilizzati solo fino agli anni 70' circa, per uso residenziale ma anche per uso commerciale, avendo subito molte modifiche per quanto riguarda la distribuzione interna e di conseguenza modifiche anche ai prospetti perdendo così le caratteristiche tipologiche e artistiche originali. Insieme a questa unità si possono notare delle superfetazioni, degli ampliamenti recenti che non hanno nessuna particolarità dal punto di vista storico e perciò dovranno essere oggetto di demolizione con l'obiettivo del ripristino della forma originaria del fabbricato.

Invece nella parte più ad ovest il piano terra ospita l'attività commerciale denominata "Antica Osteria Milork" di proprietà della famiglia Livotto dal 1880, mentre il piano primo è ad uso residenziale, attualmente utilizzato ed abitato, annesso al piano secondo adibito a soffitta.

Mentre in adiacenza all'unità est, si presenta un'unità sempre facente parte del complesso, ad uso interamente residenziale, attualmente abitabile, ma che non sarà oggetto di intervento, perché non di proprietà dei committenti che commissioneranno l'intervento di ristrutturazione.

Infine, in adiacenza a sud dell'unità ad ovest si presenta un edificio destinato all'uso di ristorazione appartenente all'Osteria Milork realizzato negli anni 70' con successive modifiche fino agli anni 90', non appartenente al corpo del fabbricato storico e senza alcun valore artistico, che non sarà oggetto di intervento.

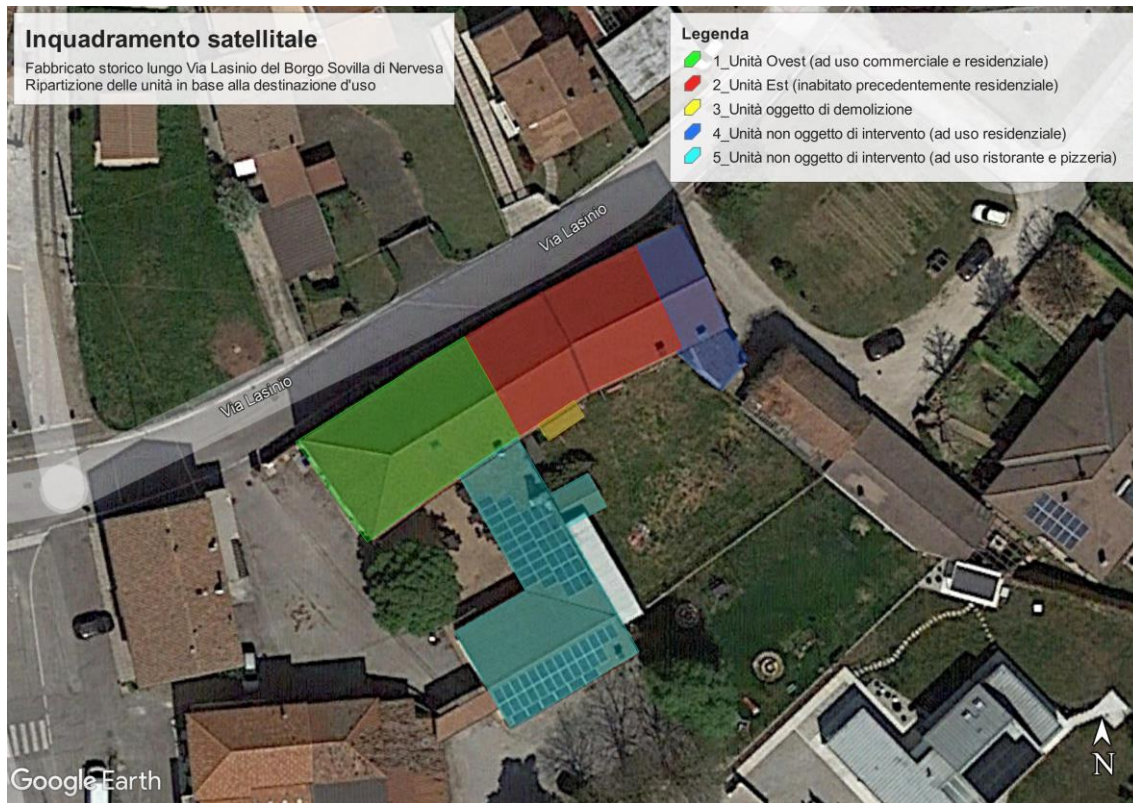


Figura 1.1.1: Inquadramento satellitare dell'area oggetto di studio – Google Earth [3]

Osservando contemporaneamente le piante e i prospetti (Figure 1.1.2-1.1.7 e Foto 1.1.1-1.1.4), dando particolare attenzione agli elementi architettonici esterni ed alla distribuzione interna dei locali, si notano ben sei ripartizioni che stanno ad indicare molto probabilmente la sua successione delle varie epoche costruttive. Quindi, si presume che la residenza sia stata costruita partendo dal lato ovest del fabbricato, poi con il passare degli anni sono stati edificati degli ampliamenti partendo dal lato ovest verso est, ma non tenendosi troppo distaccati temporalmente tra le varie epoche costruttive di ogni blocco vista la somiglianza tra i particolari architettonici.

Infine, però si può notare che i particolari architettonici dell'unità Ovest ed Est, come balconi, cornicioni e davanzali dei fori, mostrano delle notevoli differenze; quindi, si presume che le due unità principali siano state costruite mantenendo un certo distacco temporale tra loro. Si rimanda alle Foto e ai Prospetti seguenti per notare le differenze tra l'unità Ovest che comprende i blocchi A, B, C e l'unità Est che comprende i blocchi D, E, F.

Si riportano gli elaborati grafici dello stato attuale del fabbricato con la divisione dei vari blocchi costruttivi, realizzati in seguito alla fase di rilievo geometrico, insieme alle foto principali delle facciate.

Si consulti la seguente legenda per una miglior comprensione dei grafici sottostanti:

- LEGENDA**
- UNITÀ OVEST AD USO RISTORAZIONE
 - UNITÀ EST AD USO RESIDENZIALE (inutilizzato)
 - UNITÀ OVEST AD USO RESIDENZIALE
 - UNITÀ OGGETTO DI DEMOLIZIONE
 - UNITÀ NON OGGETTO DI INTERVENTO

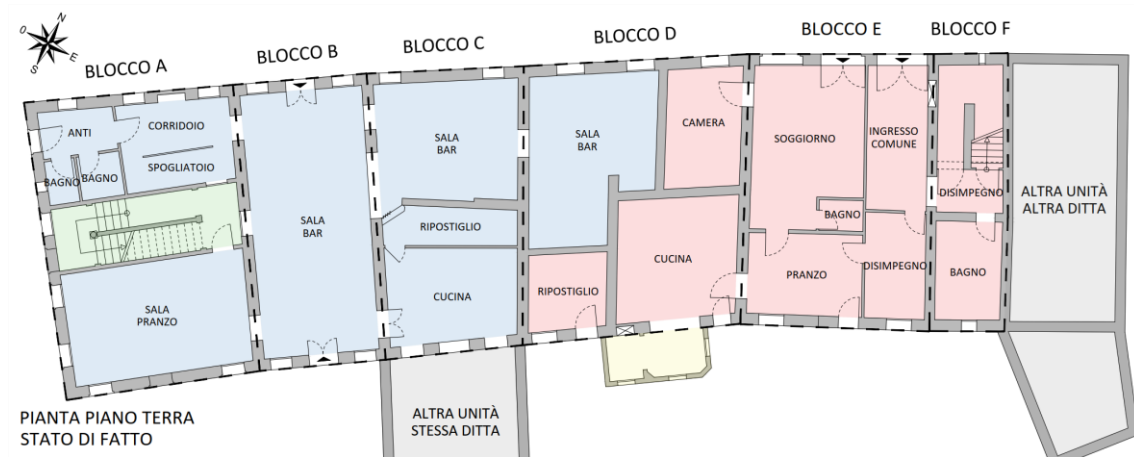


Figura 1.1.2: Pianta piano terra - Stato di fatto – scala generica



Figura 1.1.3: Pianta piano primo - Stato di fatto – scala generica

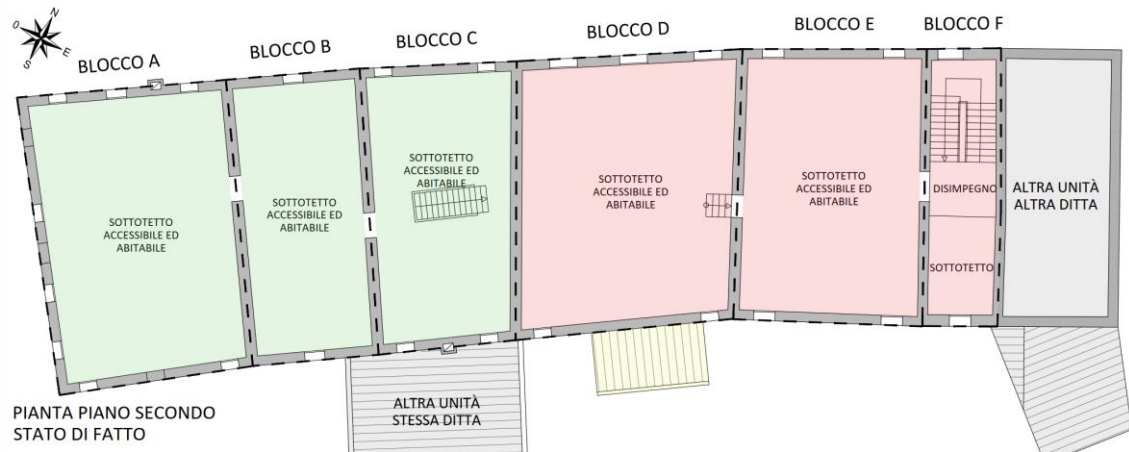


Figura 1.1.4: Pianta piano secondo - Stato di fatto – scala generica

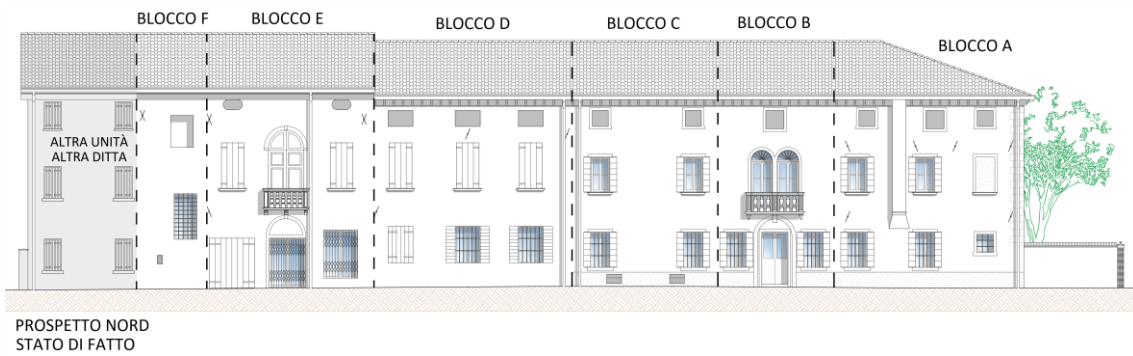


Figura 1.1.5: Prospetto Nord - Stato di fatto – scala generica



Foto 1.1.1: Prospetto Nord - Stato attuale



Foto 1.1.2: Prospetto nord-ovest - Stato attuale

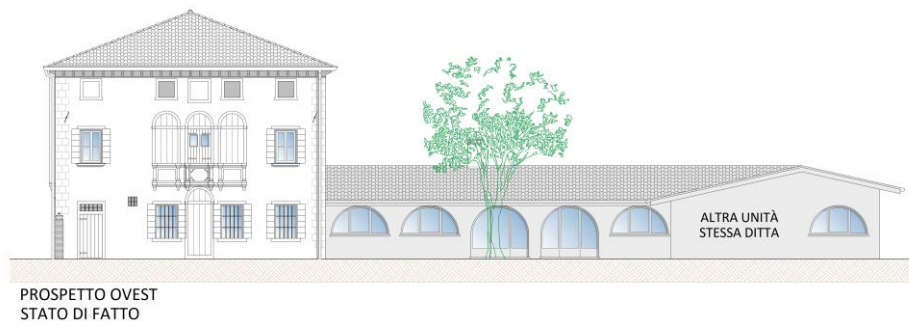


Figura 1.1.6: Prospetto Ovest - Stato di fatto – scala generica



Foto 1.1.3: Prospetto sud-ovest Stato attuale

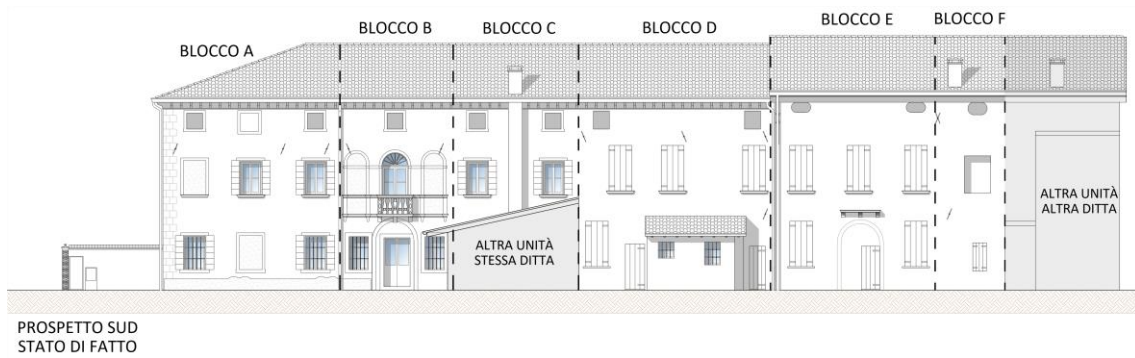


Figura 1.1.7: Prospetto Sud - Stato di fatto – scala generica



Foto 1.1.4: Prospetto sud - Stato attuale

L'eventuale recupero di un complesso edificato di queste dimensioni e condizioni di conservazione, presuppone l'approfondimento storico per determinare le evoluzioni che nel tempo lo ha portato ad essere quello che attualmente appare. Tutt'oggi, però non avendo in possesso di molta documentazione tecnica specifica non si può sviluppare precisamente la cronistoria architettonica. Quel minimo che è stato recuperato della documentazione storica e le informazioni fornite dai proprietari dell'Osteria sono risultate molto utili e preziose per la ricostruzione grafica del fabbricato, ottenendo dati metrici e dati sui materiali da costruzione utilizzati per la sua edificazione.

Ad esempio, sono stati recuperati i progetti dei restauri commissionati dalla famiglia Livotto degli anni 90' alla parte Ovest del fabbricato con il rinforzo dei muri portanti in muratura per evitare crolli e dissesti locali tramite l'uso di intonaci con malte cementizie, il rifacimento delle pitture recuperando gli affreschi di importanza artistica, il recupero delle pavimentazioni "alla veneziana", il recupero dei solai lignei restaurando le travi, usandole anche come elemento decorativo per il ristorante dandone un aspetto più rustico e il rifacimento della copertura recuperando il più possibile le travi ancora in buono stato di conservazione e sostituendo il vetusto tavolato ligneo e il manto di copertura.

Negli anni successivi, precisamente nel 2001, l'attività di ristorazione è stata oggetto di ampliamento al piano terra verso il blocco D ad est del fabbricato, modificando la distribuzione interna della parte disabitata, di conseguenza ci sono state delle modifiche anche in prospetto (vedi Figura 1.1.9 e Foto 1.1.6) con spostamento e cambio delle dimensioni dei fori esterni. Osservando la Figura 1.1.8, questo intervento ha modificato la struttura portante interna della zona interessata con la realizzazione di setti in muratura portante in sostituzione delle pareti divisorie, e con anche il rifacimento del solaio recuperando la travatura lignea ancora in buono stato di conservazione ed inserendo delle travi in acciaio per adeguare il diaframma ligneo con la nuova disposizione delle pareti portanti interne (vedi Foto 1.1.5).

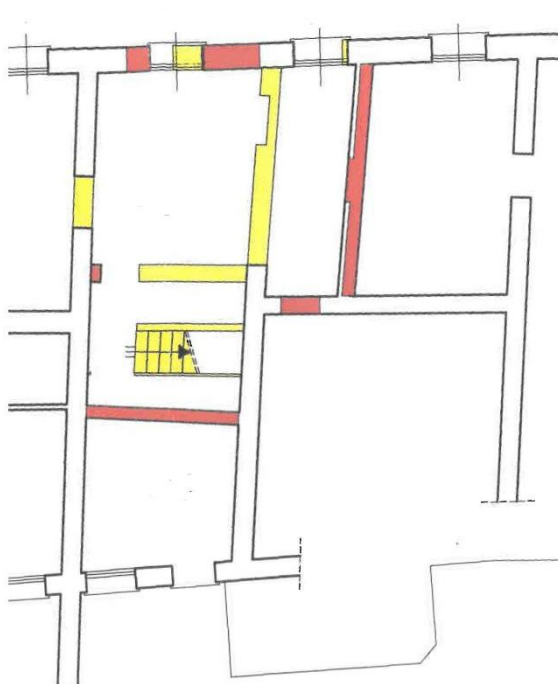


Figura 1.1.8: Pianta piano terra blocco D - Stato di progetto

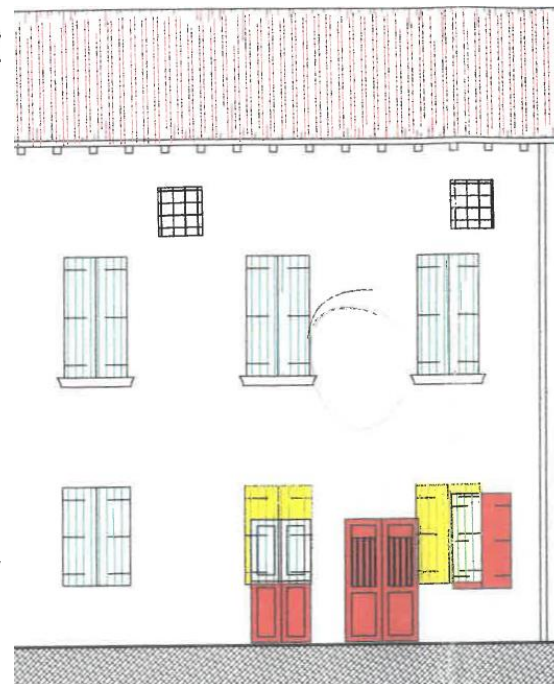


Figura 1.1.9: Prospetto Nord blocco D - Stato di progetto



Foto 1.1.5: Solaio piano terra blocco D -
Stato post-intervento



Foto 1.1.6: Prospetto Nord blocco D -
Stato post-intervento

Infine, nel 2003 sono state fatte delle modifiche alla parte est del fabbricato con il rifacimento della copertura in legno ormai vetusto come dimostrato nello stato pre-intervento nelle Foto 1.1.7 e 1.1.8. Questo intervento prevedeva la sostituzione totale della travatura lignea in pessimo stato conservativo e non essendo più in grado di sostenere le azioni permanenti ed accidentali, la sostituzione dell'assito e del manto in coppi per evitare infiltrazioni d'acqua, che mettevano a rischio l'integrità del fabbricato e dei suoi elementi architettonici di pregio.



Foto 1.1.7: Prospetto Nord
Stato pre-intervento



Foto 1.1.8: Prospetto Sud
Stato pre-intervento

Oltre a questi interventi di rifacimento della copertura, osservando lo stato pre-intervento nella Figura 1.1.10 e lo stato di progetto nella Figura 1.1.11 conforme allo stato che attualmente si può osservare all'interno del fabbricato (vedi Foto 1.1.9), nella parte a sud



Foto 1.1.9: Copertura unità est
Stato post-intervento



Foto 1.1.10: Segni della travatura antecedente all'intervento di modifica della copertura al blocco F
Stato post-intervento

Considerando l'ipotesi di ristrutturazione lo stabile dovrà esser oggetto di un serio recupero edilizio, con un intervento che dovrà rispettare con attenzione la tipologia storica e la conservazione degli elementi architettonici degni di recupero, con particolare attenzione nella porzione più ad est, dove servirebbe un intervento serio di consolidamento e di adeguamento strutturale.

1.2. Inquadramento urbanistico

Prima di procedere con la progettazione del fabbricato è necessario consultare gli strumenti urbanistici in cui ricade il fabbricato e le norme urbanistiche da cui è regolato. Ci si dovrà confrontare con gli elaborati del Piano degli Interventi (P.I.) e del Piano di Assetto del Territorio (P.A.T.), pubblicati nel sito ufficiale del Comune di Nervesa.

Consultando la tavola del P.I. che illustra graficamente la Zonizzazione del territorio comunale (vedi Figura 1.2.1), l'immobile è riconosciuto come fabbricato di particolare interesse storico e artistico, appartenente al centro storico del Borgo Sovilla.

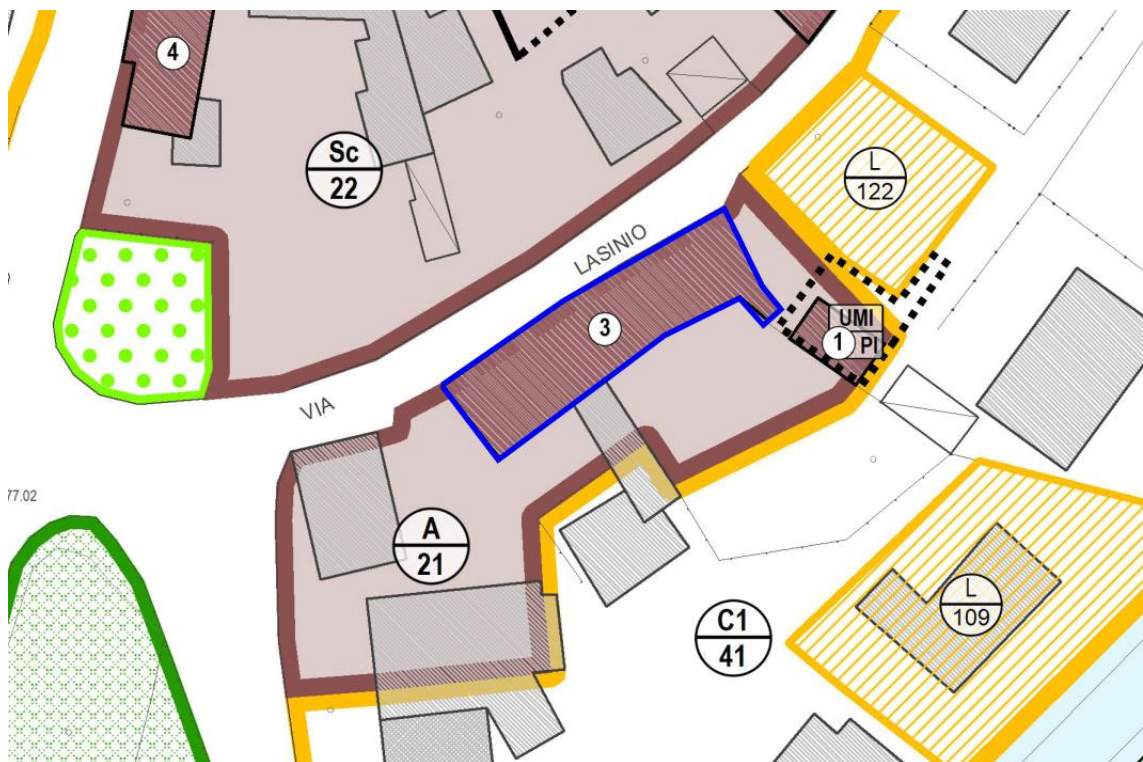


Figura 1.2.1: Estratto tavola della zonizzazione del Piano degli Interventi [4]

Esso è soggetto al grado di protezione 3, quindi viene classificato come edificio di cui interessa la conservazione di tutti gli elementi di pregio, con possibilità di intervento di ristrutturazione edilizia parziale, senza demolizione, prevedendo:

- Il mantenimento dell'assetto planivolumetrico esistente definito dai muri perimetrali e dal tetto;
- Il ripristino delle fronti esterne per le parti originarie conservate e per gli eventuali elementi di particolare interesse tipologico e stilistico; non possono essere apportate modifiche alle aperture in congruenza con le modifiche distributive interne;
- il ripristino degli ambienti interni e dei collegamenti verticali limitato agli eventuali elementi di particolare valore, e la loro modifica in tutti gli altri casi;
- l'inserimento di nuovi impianti;
- possibilità di inserire scale, ascensori, montacarichi e altri impianti tecnologici che non compromettano la morfologia, la tipologia e le strutture dell'edificio;
- possibilità di traslazione dei solai privi di caratteri architettonici;
- possibilità di utilizzare un'altezza minima dei vani esistenti abitabili pari a m 2,40.

Infine, per la progettazione interna prevista anch'essa nel progetto, ci si confronterà con il regolamento edilizio comunale (elaborato del P.I.), ricavandosi le caratteristiche costruttive e funzionali che dovranno avere i locali interni, le altezze e superfici minime degli alloggi e le caratteristiche che dovranno avere scale e ascensori nel caso di fabbricati di interesse storico.

Capitolo 2

Rilievo geometrico-strutturale

Il rilievo geometrico-strutturale è riferito alla geometria complessiva, sia degli elementi strutturali, sia quelli architettonici.

Nel rilievo sono rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica e si individua l'organismo portante del fabbricato, tenendo anche presenti la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

In questa fase si raggiungono i seguenti obiettivi:

- Ricostruzione della geometria complessiva della costruzione e degli elementi che la compongono;
- Individuazione delle modifiche avvenute nel tempo;
- Individuazione dell'organismo portante;
- Individuazione della tipologia, della qualità e dello stato di conservazione dei materiali;
- Rilievo di eventuali dissesti e danni, individuando i quadri fessurativi e i meccanismi in atto.

2.1. Caratteristiche strutturali

Si riportano di seguito le caratteristiche di tutti gli elementi che hanno un ruolo portante per sostenere i carichi permanenti non strutturali ed accidentali.

2.1.1. Fondazioni in muratura

Le fondazioni sono semplicemente composte da un cordolo in muratura continuo che supporta il carico delle pareti portanti del fabbricato. Questo cordolo ha uno spessore maggiore del muro portante e andando in profondità rispetto il livello dell'asfalto stradale o del marciapiede esterno la sezione della fondazione si allarga a scaletta fino a sporgere dal filo del muro di massimo 15 cm ad una profondità di circa 60 cm (vedi Figura 2.1.1). La sua tessitura è molto variabile, composta da pietre e ciottoli, mentre agli angoli mattoni pieni in cotto consentendo un buon incastro rigido tra i cordoli che si incrociano.

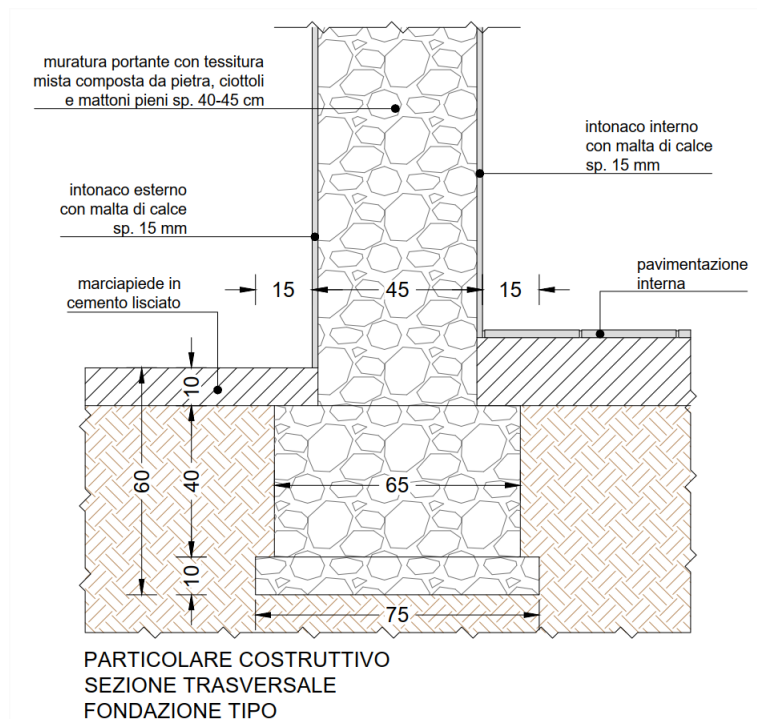


Figura 2.1.1: Sezione tipo fondazione e muratura – Sezione trasversale

Stato di fatto



Foto 2.1.1: Fondazione tipo facciata
Ovest
Stato attuale



Foto 2.1.2: Fondazione tipo facciata Ovest
Stato attuale

2.1.2. Pareti in muratura portante

La muratura del complesso storico genericamente è a tessitura mista formata da pietre, ciottoli e mattoni pieni in cotto, però si possono notare delle parti della muratura omogenee per quanto riguarda la tessitura e la tipologia del materiale utilizzato.

In prossimità degli angoli, degli incroci tra pareti portanti ortogonali e lungo le spalle dei fori abbiamo una tessitura composta principalmente da mattoni pieni dell'epoca, che consentono un miglior collegamento tra le pareti e aumentano la resistenza a compressione delle spalle del foro.

Invece i paramenti murari, maschi murari e fasce di piano hanno una tessitura molto mista, ma principalmente composta da ciottoli e pietre levigate, le quali si ipotizza che provengano dal fiume Piave, perché all'epoca si usavano principalmente i materiali della zona.

Da notare nella Foto 2.1.3 un esempio di inserimento di tiranti metallici contro le azioni di ribaltamento fuori piano dei paramenti murari. Osservando i prospetti e facendo un'analisi visiva degli interni del fabbricato possiamo notare che sono stati installati lungo i muri maestri che dividono i vari blocchi e poco al di sotto dei solai, come intervento provvisorio non completo in vista di un serio consolidamento strutturale.



Foto 2.1.3: Esempio di tiranti metallici facciata Nord



Foto 2.1.4: Tessitura muraria agli incroci tra pareti ortogonali
Stato attuale



Foto 2.1.5: Tessitura paramento murario
Stato attuale

2.1.3. Solai in legno

I solai per tutte le campate e i piani del fabbricato hanno la stessa composizione strutturale e simile stratigrafia, composta da travetti in legno massiccio d'abete disposti con orditura semplice di diversa sezione, un assito in legno d'abete con spessore di circa 2.5 cm e in alcune zone del fabbricato avremo anche una pavimentazione “alla veneziana” con spessore di circa 6 cm, ad esempio nel solaio soprastante il piano terra dei blocchi A, B e C.

In base alla diversa sezione dei travetti, possiamo notare tre diverse tipologie di solai, come dimostrato nei grafici seguenti.

Si consulti la seguente legenda per una miglior comprensione dei grafici sottostanti:

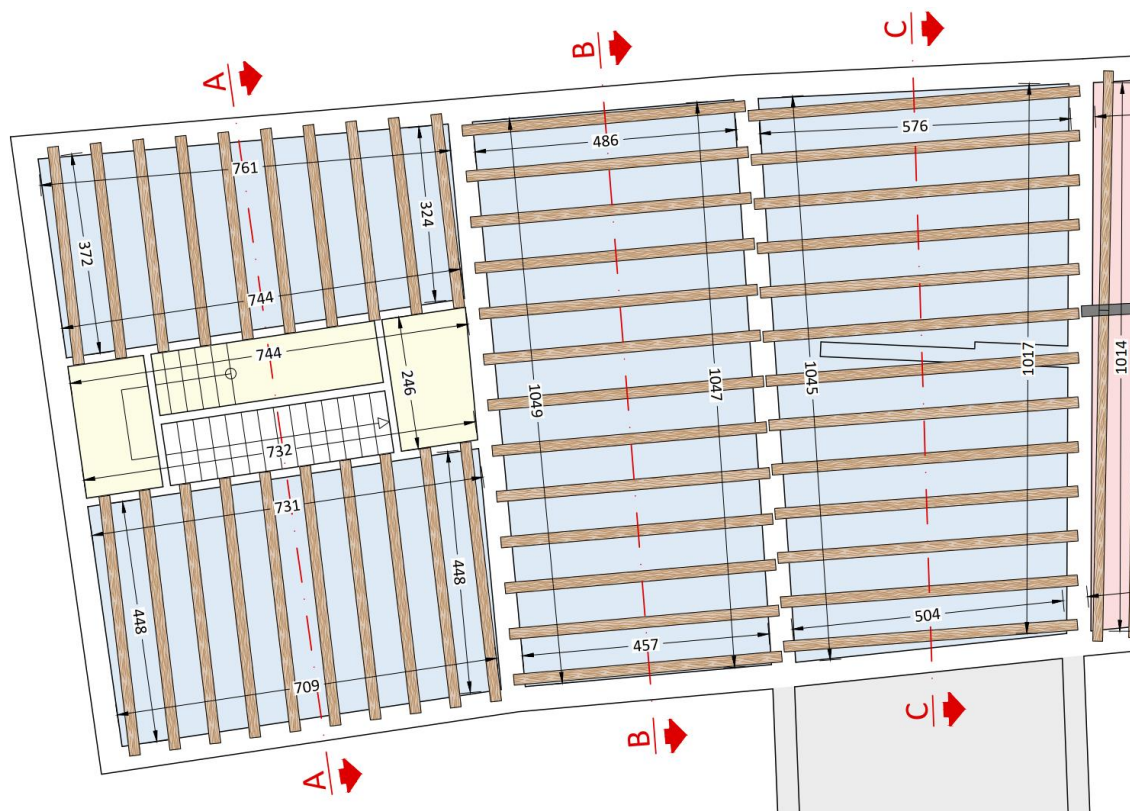


Figura 2.1.2: Pianta solaio piano terra dei blocchi A,B,C

Stato di fatto - scala generica

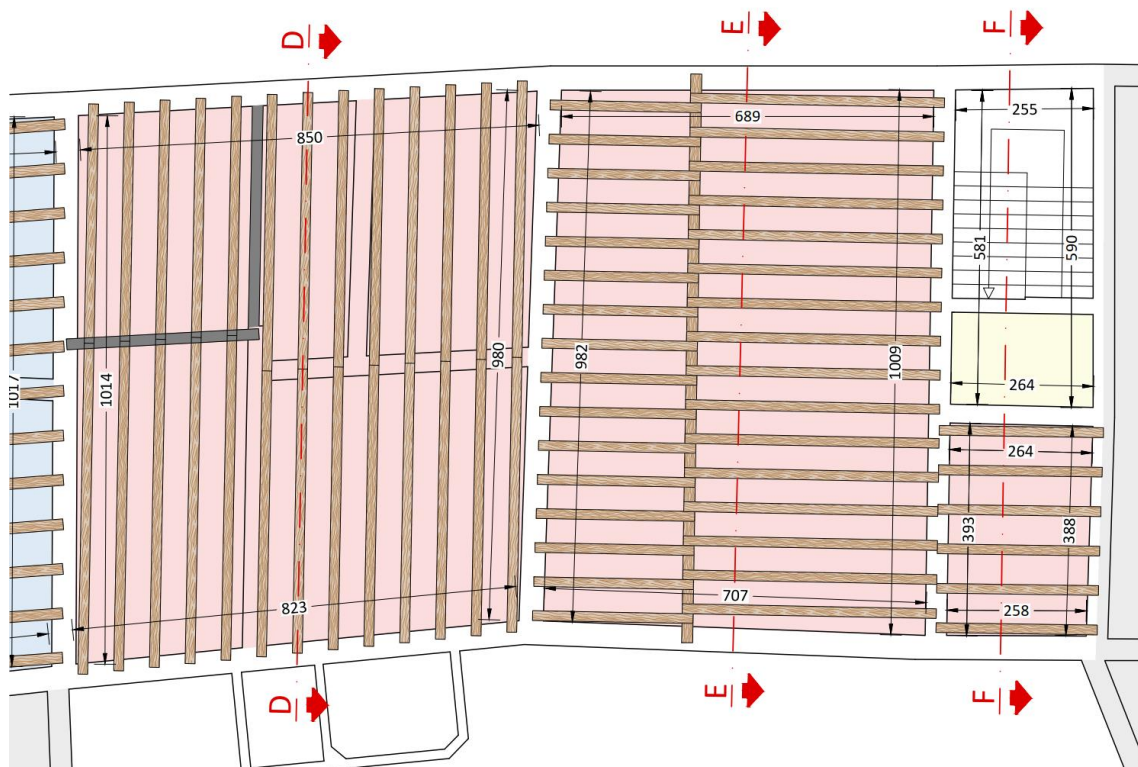


Figura 2.1.3: Pianta solaio piano terra dei blocchi D,E,F

Stato di fatto - scala generica

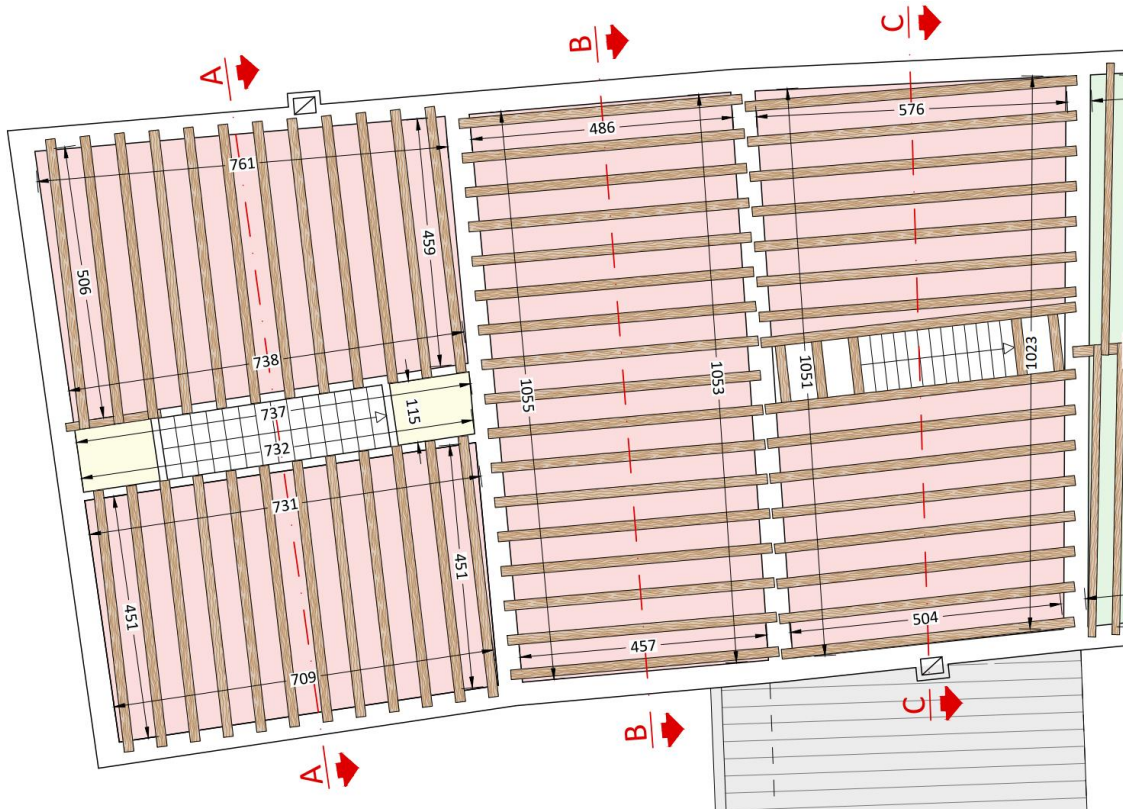


Figura 2.1.4: Pianta solaio piano primo dei blocchi A,B,C

Stato di fatto - scala generica

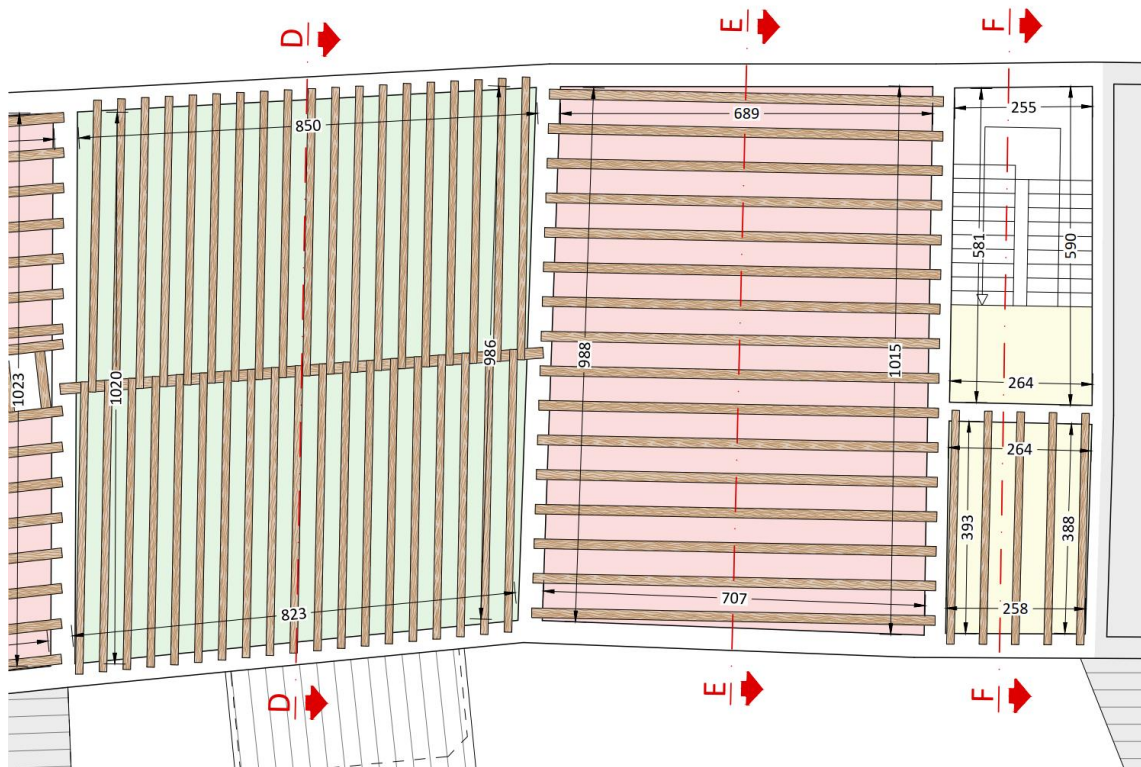
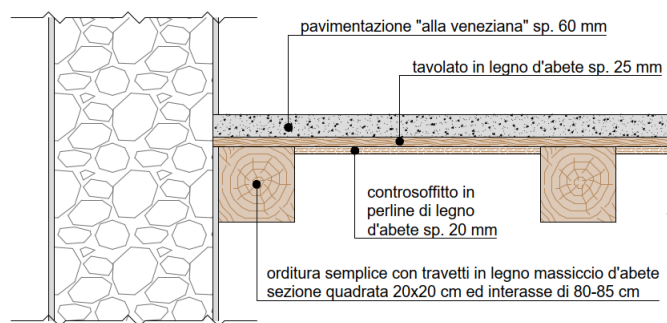


Figura 2.1.5: Pianta solaio piano primo dei blocchi D,E,F
Stato di fatto - scala generica

La prima tipologia di solaio che si è individuata ha una struttura con travetti in legno massiccio di abete con sezione quadrata, senza smusso angolare, di 20x20 cm ed un interasse che si aggira tra 80-85 cm. Questo tipo di solaio si può trovare principalmente nella parte ad uso ristorazione, specificatamente soprastante il piano terra dei blocchi A, B e C;



PARTICOLARE COSTRUTTIVO
SEZIONE TRASVERSALE
SOLAIO TIPO 1

Figura 2.1.6: Particolare costruttivo Solaio tipologia 1 - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20

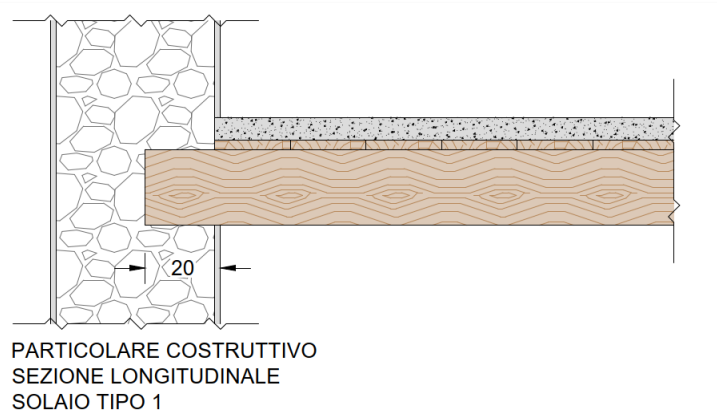


Figura 2.1.7: Particolare costruttivo Solaio tipologia 1 - Sezione longitudinale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.6: Esempio Solaio tipologia 1 al piano terra del blocco B – Stato attuale

La seconda tipologia, che si può trovare al primo piano del blocco D, ha una struttura con travetti di sezione rettangolare smussata agli angoli con stile “ad uso Fiume” di 14x18 cm e interasse medio di 45 cm;

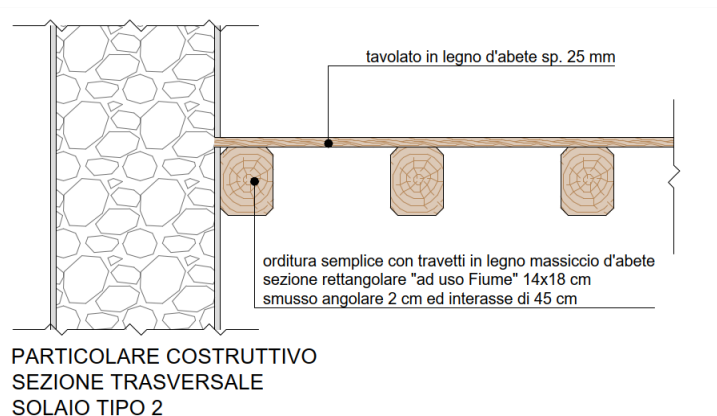


Figura 2.1.8: Particolare costruttivo Solaio tipologia 2 - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20

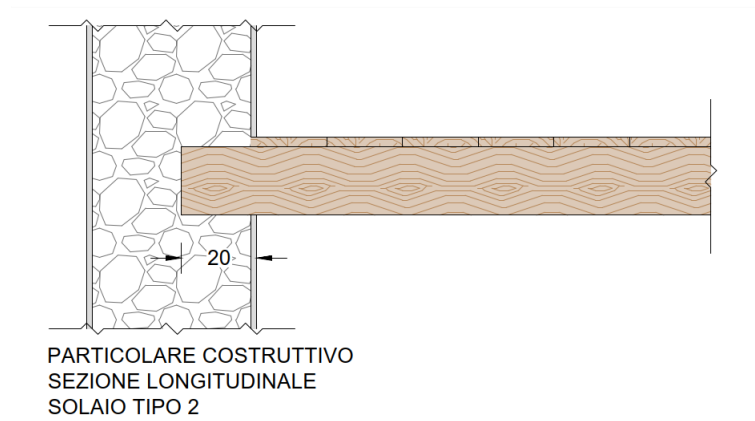


Figura 2.1.9: Particolare costruttivo Solaio tipologia 2 - Sezione longitudinale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.7: Esempio Solaio tipologia 2 al piano primo del blocco D – Stato attuale

Infine, la terza tipologia di solaio, nel resto degli impalcati della struttura, ha travetti di sezione quadrata “ad uso Trieste”, smussata agli angoli di circa 4 cm di sezione 18x18 cm di media ed interasse tra i 60-65 cm.

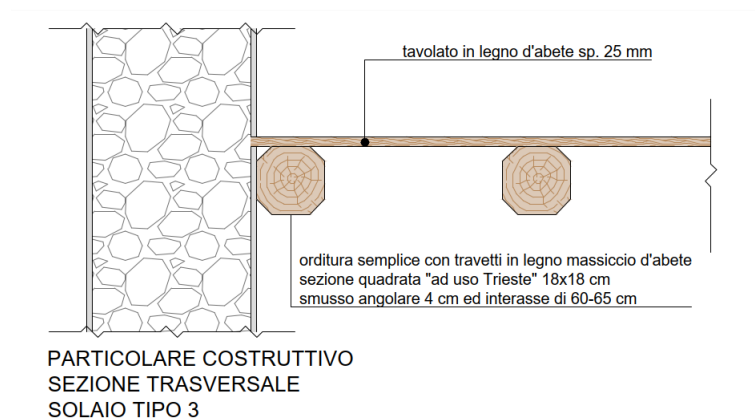


Figura 2.1.10: Particolare costruttivo Solaio tipologia 3 - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20

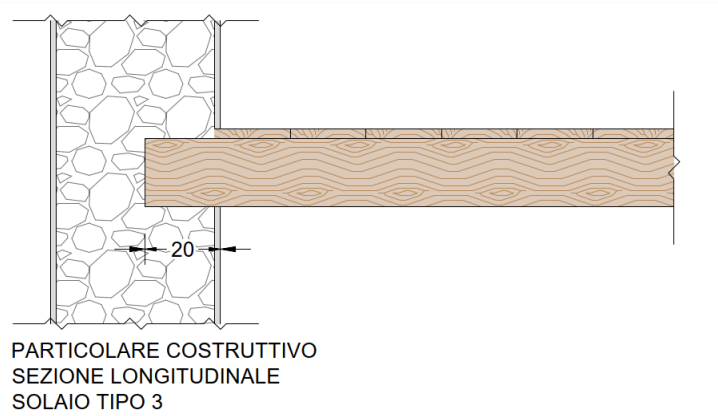


Figura 2.1.11: Particolare costruttivo Solaio tipologia 3 - Sezione longitudinale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.8: Esempio Solaio tipologia 3 al piano primo del blocco E – Stato attuale

Approfondendo, le travi ad uso Trieste hanno una sezione quadrata o rettangolare ottenuta dal tronco mediante squadratura meccanica, continua dal calcio alla punta su quattro facce seguendo la rastremazione del tronco, con smussi e contenente il midollo. Mentre le travi ad uso Fiume hanno le stesse caratteristiche di quelle ad uso Trieste però la squadratura meccanica è continua e parallela dal calcio alla punta su quattro facce, sempre con smussi e contenente il midollo.

In alcuni casi, come nei solai del blocco D al piano primo (vedi Foto 2.1.9) e del blocco E al piano terra (vedi Foto 2.1.10), i travetti poggiano su una trave rompitratta in legno per ridurre la distanza tra gli appoggi delle travi. Le travi rompitratta in tutti e due i casi hanno una sezione rettangolare di dimensioni 20x30 cm e in prossimità degli appoggi è stata posizionato un rinforzo ligneo, denominato modiglione, per ridurre le tensioni tangenziali. Si rimanda all'illustrazione dei particolari grafici e delle foto di ogni trave.

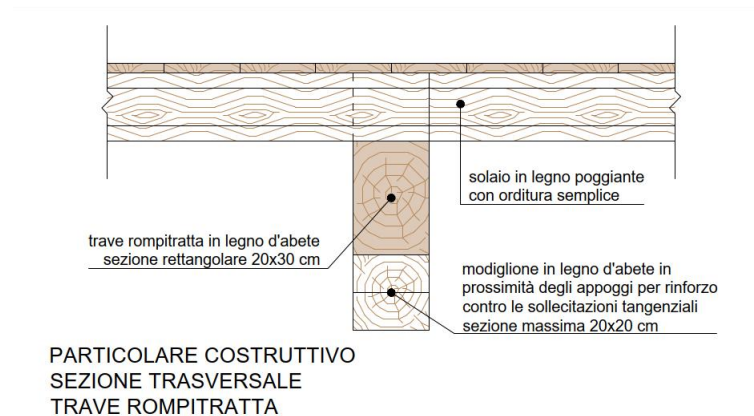


Figura 2.1.12: Particolare costruttivo Trave rompitratta - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20

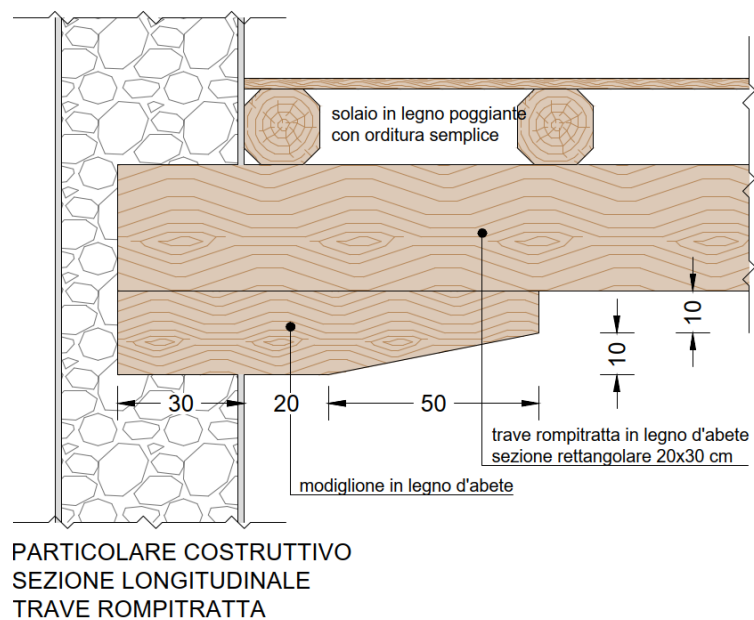


Figura 2.1.13: Particolare costruttivo Trave rompitratta - Sezione longitudinale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.9: Trave rompitratta al piano primo del blocco D – Stato attuale



Foto 2.1.10: Trave rompitratta al piano terra del blocco E – Stato attuale

Per quanto riguarda lo stato conservativo dei solai, con un'indagine visiva si osserva che la travatura ormai vetusta è recuperabile tramite degli interventi di pulizia da funghi e muffe ed interventi di rinforzo locale, ma in alcuni casi può essere necessaria la completa sostituzione di alcune travi perché in pessime condizioni per troppe parti ammalorate.



Mentre il tavolato è in pessimo stato di conservazione perché ammalorato dall'attacco di insetti xilofagi (tarli del legno) e funghi degradatori, quindi sicuramente da sostituire.

Infine, le travi rompitratta sono in modeste condizioni di conservazione, ma viste le vaste luci su cui si estendono si valuterà il loro totale o parziale recupero.

2.1.4. Copertura in legno

In base alla disposizione dell'orditura dei travetti e la sua sezione si possono individuare due principali tipologie di coperture come dimostrato nei grafici seguenti.

Si consulti la seguente legenda per una miglior comprensione dei grafici sottostanti:

LEGENDA		COPERTURA TIPOLOGIA 1
		COPERTURA TIPOLOGIA 2

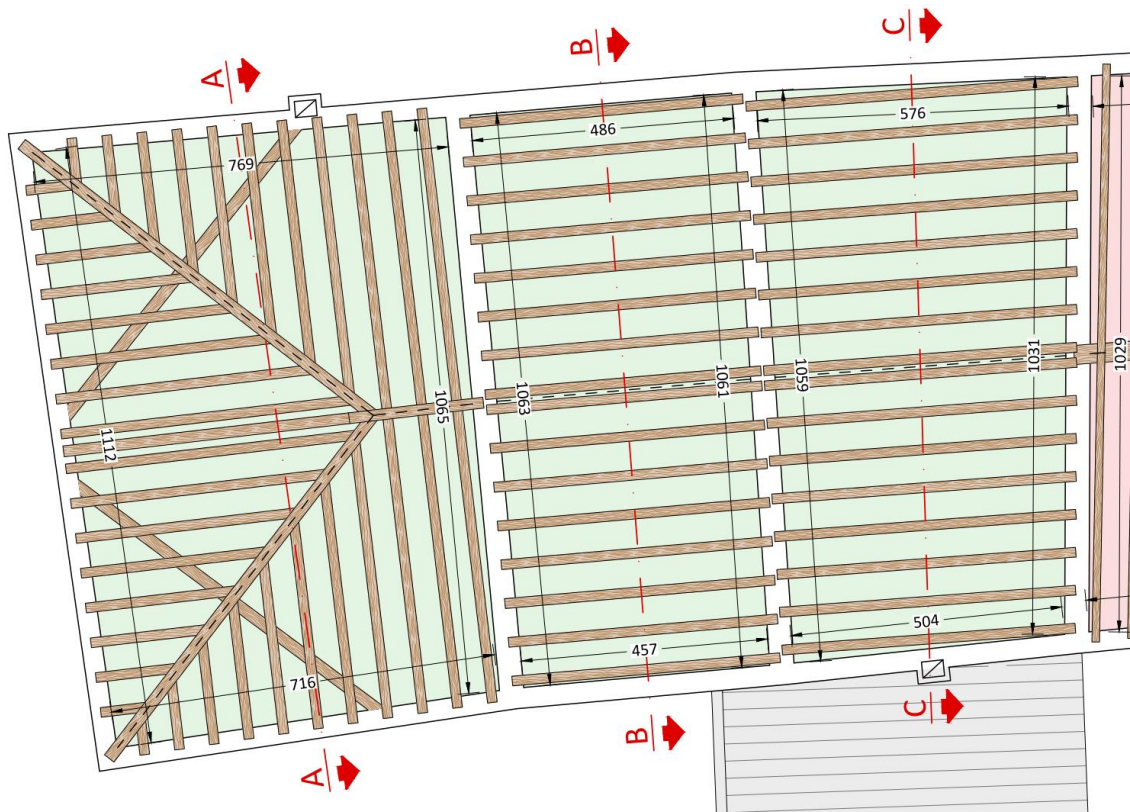


Figura 2.1.14: Pianta copertura dei blocchi A,B,C

Stato di fatto - scala generica

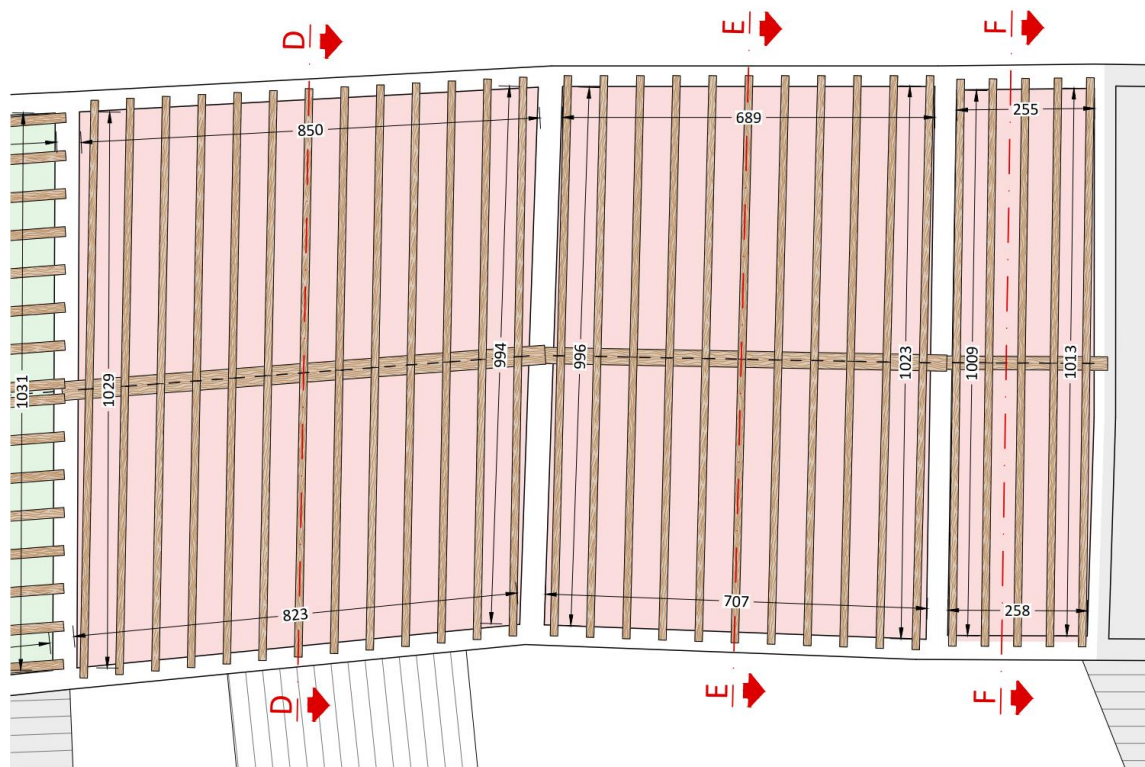


Figura 2.1.15: Pianta copertura dei blocchi D,E,F

Stato di fatto - scala generica

La prima tipologia di copertura che copre tutta l'ala ovest del fabbricato (blocchi A, B, C) ha una struttura a travetti in legno di sezione quadrata smussata agli angoli di dimensioni 18x18 cm e disposti con orditura alla lombarda.

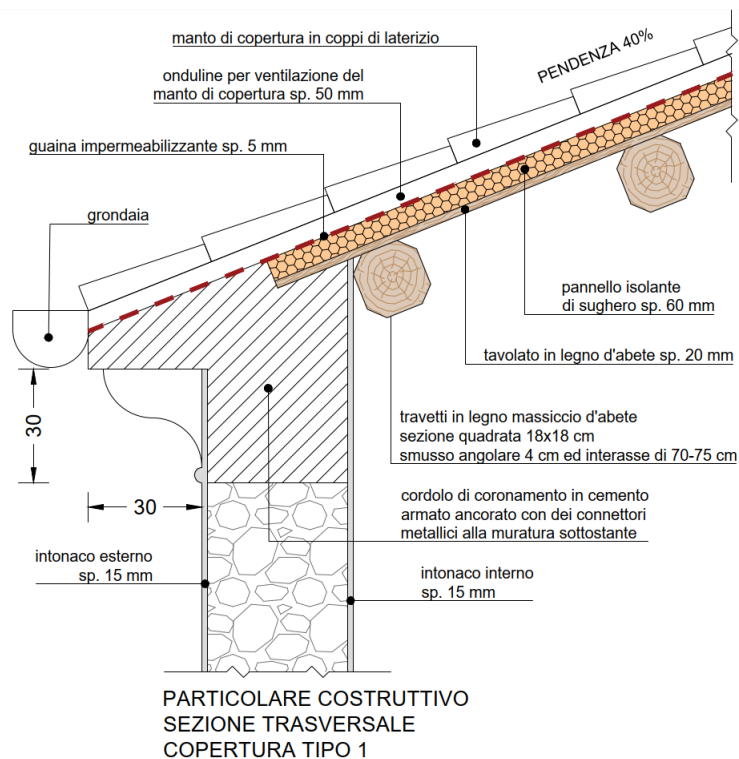


Figura 2.1.16: Particolare costruttivo copertura tipologia 1 - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.11: Esempio Copertura tipologia 1 del blocco A

Stato attuale

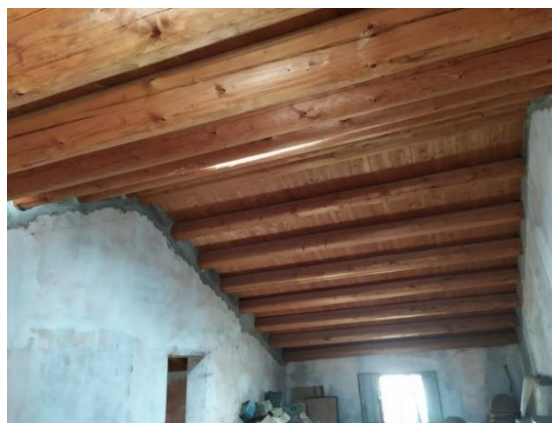


Foto 2.1.12: Esempio Copertura tipologia 1 del blocco B

Stato attuale

La seconda tipologia di copertura che copre tutta la parte est dell'edificio (blocchi D, E, F) ha una struttura a travetti in legno, con sezione rettangolare leggermente smussata di dimensioni 14x23 cm, disposti con orditura alla piemontese, poggianti sulla trave di colmo di sezione pari a 35x35 cm per il blocco D, 30x30cm per il blocco E ed infine una trave di colmo di 25x25 cm per il blocco F.

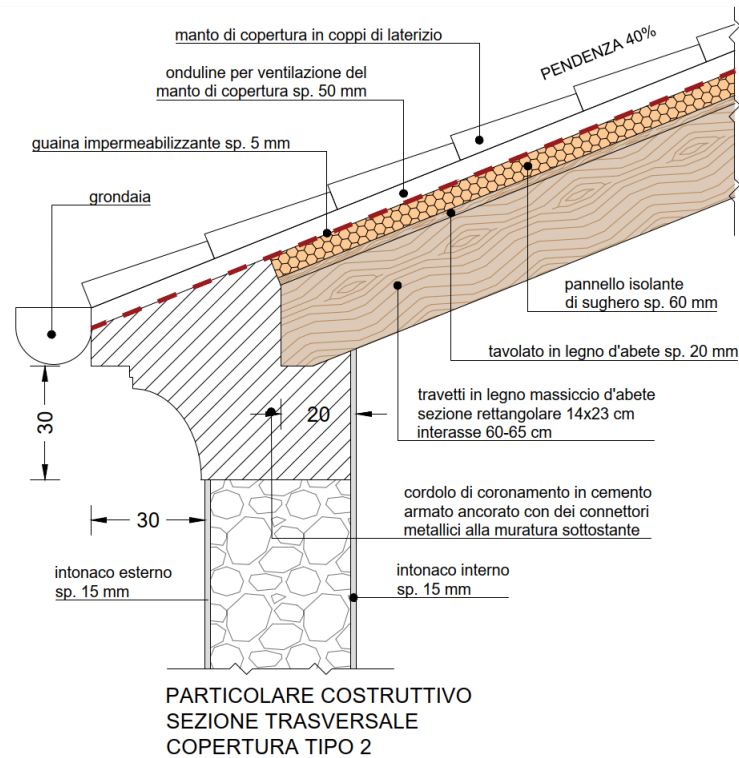


Figura 2.1.17: Particolare costruttivo copertura tipologia 2 - Sezione trasversale

Stato di fatto - scala 1:20



Foto 2.1.13: Esempio di incrocio travetto – cordolo di coronamento copertura Est

Stato attuale



Foto 2.1.14: Esempio Copertura tipologia 2 del blocco D
Stato attuale



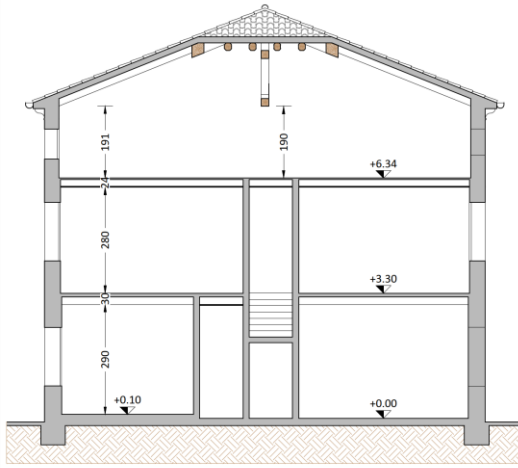
Foto 2.1.15: Esempio Copertura tipologia 2 del blocco F
Stato attuale

Per quanto riguarda il manto di copertura, sopra i travetti abbiamo la stessa stratigrafia per tutta la copertura del fabbricato con tavolato da 2 cm, pannello in sughero per isolamento termico da 6 cm, guaina impermeabilizzante, onduline sottocoppo che occupano uno spessore di circa 5 cm per consentire una buona ventilazione sotto il manto di copertura in coppi di laterizio.

In tutti e due i casi per consentire un buon collegamento tra i travetti della copertura e le pareti portanti ed oltre alla questione di miglioramento antisismico è stato realizzato un cordolo di coronamento in cemento armato, ben collegato alla muratura sottostante tramite degli ancoraggi in acciaio inclinati. Tale intervento mira a contrastare le azioni orizzontali provenienti dalle spinte verso l'esterno della copertura e le azioni sismiche perché favorisce il comportamento scatolare della muratura, però allo stesso modo risulta essere un corpo in cemento di un certo peso che grava sulle pareti portanti e collegato ad una muratura instabile e disomogenea.

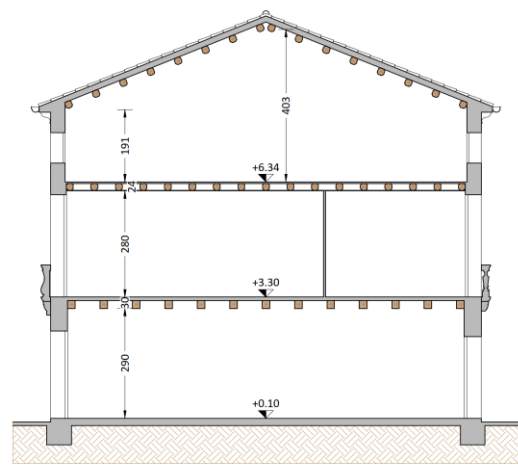
Per quanto riguarda l'aspetto conservativo, in generale attraverso un'indagine visiva si deduce che sia in buono stato avendo realizzato tale copertura in un periodo abbastanza recente e con tecnologie affidabili.

Infine, ulteriormente agli schemi grafici riportati precedentemente si illustrano le sezioni di ogni blocco costruttivo del fabbricato.



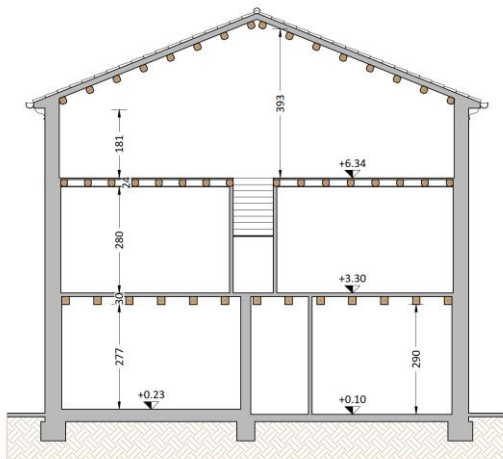
SEZIONE A-A
STATO DI FATTO

Figura 2.1.18: Sezione trasversale del blocco A
Stato di fatto – scala 1:200



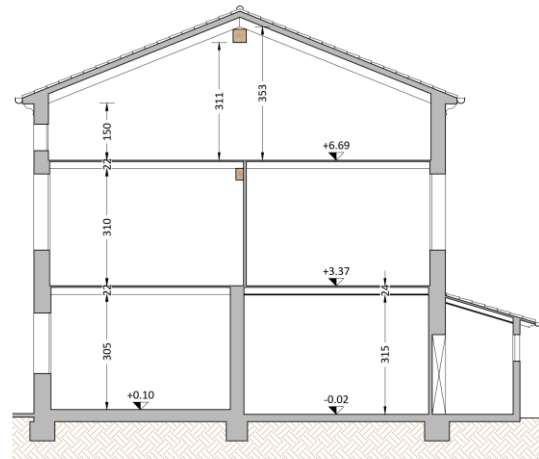
SEZIONE B-B
STATO DI FATTO

Figura 2.1.19: Sezione trasversale del blocco B
Stato di fatto – scala 1:200



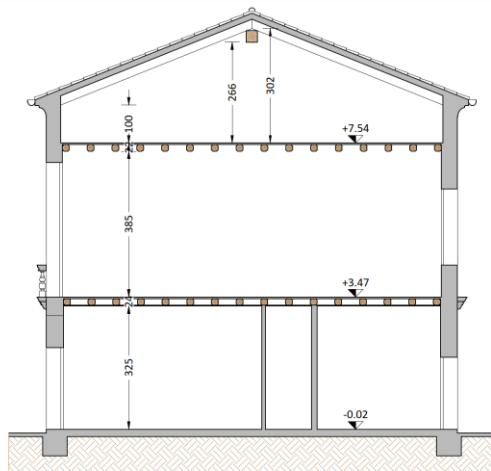
SEZIONE C-C
STATO DI FATTO

Figura 2.1.20: Sezione trasversale del blocco C
Stato di fatto – scala 1:200



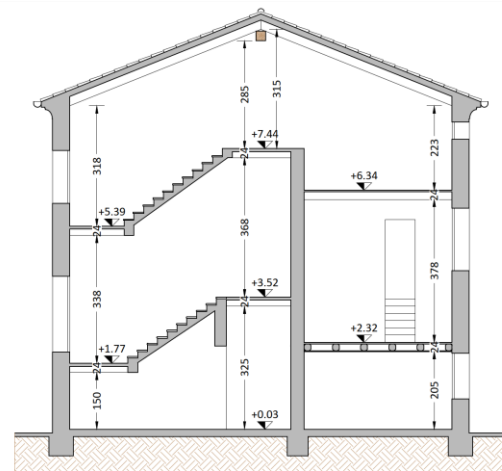
SEZIONE D-D
STATO DI FATTO

Figura 2.1.21: Sezione trasversale del blocco D
Stato di fatto – scala 1:200



SEZIONE E-E
STATO DI FATTO

Figura 2.1.22: Sezione trasversale del blocco E
Stato di fatto – scala 1:200



SEZIONE F-F
STATO DI FATTO

Figura 2.1.23: Sezione trasversale del blocco F
Stato di fatto – scala 1:200

2.2. Caratteristiche architettoniche

Si riportano di seguito le caratteristiche degli elementi architettonici che non fanno parte dell'organismo strutturale della costruzione, ma comportano un carico permanente non strutturale che grava sulla struttura portante.

2.2.1. Scale interne

Internamente al fabbricato, nelle scale principali dell'ala est che portano al primo piano, sono state mantenute tutte le caratteristiche preesistenti per quanto riguarda lo stato tipologico ed artistico dell'epoca di costruzione, anche se sono in uno stato di degrado tali da essere restaurate. Esse sono costituite da alzate e pedate in pietra appoggiate semplicemente a setti in muratura portante, mentre i pianerottoli hanno una struttura portante in travi di legno di sezione 14x16cm che sostengono un tavolato in legno da 2 cm e una pavimentazione in cotto di circa 6 cm. Vedi Foto 2.2.1 di seguito.



Foto 2.2.1: Scale interne al piano terra del blocco F

Stato attuale

Le scale appartenenti al blocco ad ovest anch'esse sono in pietra poggianti su setti in muratura e il pianerottolo è stato realizzato insieme a una pavimentazione alla veneziana.

In questo caso è necessario solamente un leggero restauro della scalinata in pietra ormai consumata dal tempo e al massimo un rinforzo della struttura portante lasciando intatti gli elementi architettonici che decorano la scalinata, tra cui colonne ed archi in pietra.



Foto 2.2.2: Scale interne al piano terra del blocco A

Stato attuale



Foto 2.2.3: Particolari architettonici delle scale interne al piano terra del blocco A

Stato attuale

Mentre le scale che portano al secondo piano, adibito a soffitta, hanno pedate ed alzate in semplici tavole di legno sostenute da una struttura portante in travi lignee e non hanno questa grande particolarità dal punto di vista artistico e storico.



Foto 2.2.4: Scale interne al piano primo del blocco F

Stato attuale



Foto 2.2.5: Scale interne al piano primo del blocco C

Stato attuale

2.2.2. Pavimentazione

Nello stabile ad ovest la pavimentazione interna “alla veneziana” è stata mantenuta, composta da granulati e scaglie di marmi di pregio che all’epoca era diventata emblematica nello stile di palazzi ed edifici rinascimentali.



Foto 2.2.6: Pavimentazione “alla veneziana” al piano primo del blocco B
Stato attuale

2.2.3. Facciate

Il prestigioso edificio ad oggi presenta un diffuso ed evidente stato di degrado per quanto riguarda gli intonaci esterni dovuto in primo luogo alle intemperie e al trascorrere del tempo ma è anche presente un evidente fenomeno di umidità di risalita.

In più punti sono presenti dei distacchi di pittura, scrostature varie e crepe di varia natura sia strutturale che semplici cavillature di intonaco.

Le spallette di porte e finestre sono realizzate con fasce a rilievo a contorno in tonalità grigia oggi particolarmente degradate. Sui presenti elementi in pietra dolce, come le colonnine dei balconi e alcuni davanzali, risultano rovinati da muffe e alghe.

Nell’edificio sono ancora evidenti molte testimonianze del passato, come tracce del pregiato intonaco a marmorino palladiano, tradizionale caratteristica delle dimore patrizie

dell'epoca, inoltre nella parete lato ovest, sono ancora visibili le decorazioni a rilievo con all'interno lo stemma della famiglia Lasinio e il leone della Repubblica Veneta (vedi Foto 2.2.7); infine, possiamo notare nel cornicione sotto il tetto dell'unità ovest delle rosette dipinte a completamento dell'opera (vedi Foto 2.2.8).



Foto 2.2.7: Balcone facciata Ovest

Stato attuale



Foto 2.2.8: Esempio di cornicione con rosette dipinte

Stato attuale

I balconi e finestre in legno si presentano con un degrado diffuso dovuti alle intemperie e all'acqua, alcuni balconi presentano dei punti particolarmente compromessi, le finestre presenti sono in originale dei primi 900, anche questo è un elemento di pregio dell'edificio.

Nel corso degli anni sono state fatte molte modifiche alle facciate dell'edificio, soprattutto nella parte più ad est, chiudendo e spostando i fori e le porte ad arco, togliendo in parte le caratteristiche artistiche e tipologiche delle facciate. Vedi Foto 2.2.9 di seguito.



Foto 2.2.9: Facciata Sud unità Est

Stato attuale



Foto 2.2.10: Balcone facciata Sud del blocco B

Stato attuale



Foto 2.2.11: Balcone facciata Nord del blocco B
Stato attuale



Foto 2.2.12: Balcone facciata Nord del blocco E
Stato attuale

Capitolo 3

Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile e su verifiche in situ principalmente, tramite un'indagine visiva dettagliata. Nel caso di costruzioni sottoposte a tutela, di beni di interesse storico-artistico e storico-documentale, dovrà essere considerato l'impatto in termini di conservazione. I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini visive e sul loro stato conservativo e adottando i parametri forniti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (NTC 2018) e dalla normativa EN 1995 (Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno).

3.1. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate nei capitoli precedenti (analisi storico-critica e rilievo geometrico), saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

Secondo le NTC ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti, ordinati per informazione crescente:

- LC1: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, il rilievo geometrico completo, indagini limitate sui dettagli costruttivi e prove limitate sulle caratteristiche meccaniche dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,35$
- LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, le fasi del livello di conoscenza LC1 con lo stesso grado di quantità e qualità di informazioni

raccolte, ma con indagini estese sui dettagli costruttivi e prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,20$

- LC3: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, le fasi del livello di conoscenza LC2 con lo stesso grado di quantità e qualità di informazioni raccolte, ma con indagini esaustive sui dettagli costruttivi e prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,00$

Considerando la quantità e la qualità dei dati raccolti sulla geometria della struttura, i dettagli costruttivi, le proprietà dei materiali e il loro stato conservativo, le connessioni tra i diversi elementi e loro presumibili modalità di collasso, si presume che si abbia un livello di conoscenza pari a LC1 con il suo corrispondente fattore di confidenza pari a $FC=1,35$.

3.2. Determinazione delle resistenze di progetto

Osservando lo stato conservativo delle strutture lignee che compongono i solai del fabbricato si procederà con alcune verifiche tramite il metodo degli stati limite ultimi per tensioni normali, dei travetti dei solai lignei per ogni tipologia rilevata e le travi rompitratta di alcuni solai. Quindi, si andranno inizialmente a determinare tutti i parametri di ogni sezione delle travi da verificare necessari per il calcolo dei valori di progetto.

La norma utilizza la seguente formula generale per il calcolo dei valori di progetto delle resistenze:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Dove:

R_k è il valore caratteristico della resistenza del materiale (flessione, trazione/compressione parallela/perpendicolare alla fibratura), i cui valori possono essere ricavati consultando la Tabella 1 dell'Eurocodice 5 - BS EN 338-2016

γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale, i cui valori possono essere ricavati dalla Tab.4.4.III delle NTC2018

k_{mod} è il coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura (classe di servizio), i cui valori sono forniti nella Tab.4.4.IV delle NTC2018

Mentre per i moduli elastici di progetto la normativa indica le seguenti formule:

$$E_d = \frac{E_m}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_m}{\gamma_M}$$

Dove:

E_m è il valore medio del modulo elastico longitudinale, i cui valori possono essere ricavati consultando la Tabella 1 dell'Eurocodice 5 - BS EN 338-2016

G_m è il valore medio del modulo elastico tangenziale, i cui valori possono essere ricavati consultando la Tabella 1 dell'Eurocodice 5 - BS EN 338-2016

Consultando la Tab.1 fornita dall'Eurocodice 5 (Tabella 3.2.1) si adotteranno i valori caratteristici del legno di conifera della prima colonna (classe C14) per le sezioni dei travetti in legno da verificare, mentre si adotteranno i valori della seconda colonna (classe C16) per le sezioni delle travi rompitratta.

	Class	C14	C16	C18
Strength properties in N/mm²				
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4
Stiffness properties in kN/mm²				
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	7,0	8,0	9,0
5 percentile modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,23	0,27	0,30
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,50	0,56

Tabella 3.2.1: Valori caratteristici delle proprietà fisiche del legno di conifera - Tab.1 EN 338-2016 [7]

Sono stati adottati i valori delle prime due classi perchè non avendo eseguito delle prove meccaniche dettagliate con estrazione ed analisi di provini, non si può avere un valore preciso delle resistenze caratteristiche, perciò si prenderanno i valori minimi del legno di conifera, mantenendosi sempre a favore di sicurezza.

Il coefficiente γ_M è valutato secondo la colonna A della Tabella 3.2.2 (Tab.4.4.III - NTC). Non si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, perchè si riferiscono a produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del materiale. Quindi trattandosi di legno massiccio per tutte le sezioni da verificare si adoterà un coefficiente di sicurezza pari a 1,50.

Stati limite ultimi	Colonna A γ_M	Colonna B γ_M
combinazioni fondamentali		
legno massiccio	1,50	1,45
legno lamellare incollato	1,45	1,35
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
unioni	1,50	1,40
combinazioni eccezionali	1,00	1,00

Tabella 3.2.2: Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali - Tab.4.4.III NTC 2018 [5]

Per determinare il coefficiente correttivo k_{mod} è necessario trovare la classe di durata del carico che grava sulle sezioni degli elementi dei solai lignei oggetto di verifica, consultando la Tabella 3.2.3 (Tab.4.4.I - NTC). Le classi di durata del carico si riferiscono a un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Per un'azione variabile la classe appropriata deve essere determinata in funzione dell'interazione fra la variazione temporale tipica del carico nel tempo. In questo caso avremo due differenti situazioni avendo due tipologie di carico, carichi permanenti, cioè il peso proprio della struttura portante e carichi non rimuovibili durante il normale esercizio della struttura, e carichi variabili, quindi carichi rimuovibili durante il normale esercizio della struttura.

Perciò si procederà con due casistiche, che in seguito verranno ricondotte a due combinazioni di carico e quindi a due verifiche agli stati limite: per i carichi permanenti strutturali e non strutturali si avrà una classe di durata del carico permanente, mentre per i carichi variabili una classe di media durata.

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi - 10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

Tabella 3.2.3: Classi di durata del carico - Tab.4.4.I NTC 2018 [5]

Le strutture devono essere assegnate ad una delle 3 classi elencate nella Tabella 3.2.4 (Tab.4.4.II - NTC). Il sistema delle classi di servizio ha lo scopo di definire la dipendenza delle resistenze di progetto e dei moduli elastici del legno e materiali da esso derivati dalle condizioni ambientali. In questo caso si può classificare la struttura con una classe di servizio 1 per i locali abitati e in uso viste le condizioni ambientali interne, quindi specificando i locali dell'ala ovest del fabbricato, mentre nell'unità est essendo in condizioni inabitabili e di degrado, le condizioni ambientali interne sono piuttosto sfavorevoli e quindi si assegnerà una classe di servizio 2.

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

Tabella 3.2.4: Classi di servizio - Tab.4.4.II NTC2018 [5]

Consultando la Tabella 3.2.5 (Tab.4.4.IV - NTC), per legno massiccio si adotteranno i seguenti coefficienti correttivi in base alla classe di servizio e alla classe di durata del carico: per una classe di durata permanente si adotterà un coefficiente pari a 0.60, mentre per una classe di media durata 0.80, valori da applicare nel calcolo delle resistenze di progetto, indipendentemente dalla classe di servizio perché non si notano differenze dei valori.

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Legno lamellare incollato (*)	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tabella 3.2.5: Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno - Tab.4.4.IV NTC 2018 [5]

Guardando le caratteristiche fisiche del legno, a causa dell'anisotropia del materiale (le proprietà meccaniche della sezione trasversale di una trave generica in legno non sono uguali in tutte le direzioni), le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione si devono eseguire tenendo conto dell'angolo tra direzione della fibratura e direzione della tensione. Vedi Figura 3.2.1.

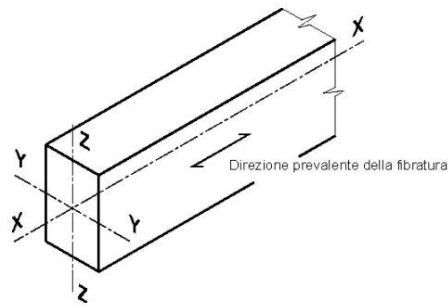


Figura 3.2.1: Schema dell'orientamento di una trave in legno generica – NTC 2018 [5]

Di seguito si illustrano nella Figura 3.2.2 le varie fasi di un generico provino di legno nel grafico sforzo-deformazione, che sottoposto a diversi tipi di sforzi, trazione o compressione parallela o perpendicolare alla direzione della sua fibratura, avrà dei comportamenti diversi essendo appunto un materiale anisotropo.

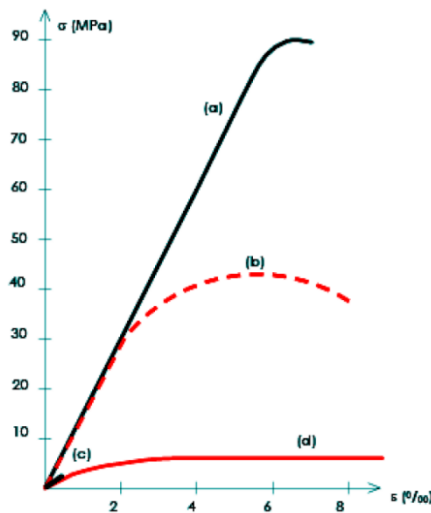


Figura 3.2.2: Grafico sforzo-deformazione di un generico provino in legno - NTC 2018 [5]

Dove:

- Curva “a”: per tensioni di trazione parallele alla direzione delle fibre
- Curva “b”: per tensioni di compressione parallele alla direzione delle fibre
- Curva “c”: per tensioni di trazione perpendicolari alla direzione delle fibre
- Curva “d”: per tensioni di compressione perpendicolari alla direzione delle fibre

In ultimazione nella Tabella 3.2.6 vengono riportati i valori di progetto delle proprietà meccaniche ed elastiche di ogni sezione da verificare, insieme ad anche ai dati geometrici e al calcolo dei momenti d'inerzia e moduli di resistenza delle sezioni, utilizzati anch'essi per le verifiche agli stati limite.

parametro	unità di misura	Travetto 1 blocco B piano terra	Travetto 2 blocco D piano primo	Travetto 3 blocco E piano primo	Trave 1 blocco D piano primo	Trave 2 blocco E piano terra
B	cm	20	14	18	20	20
H	cm	20	18	18	30	30
S _a	cm	0	2	4	0	0
A _n	cm ²	400	244	292	600	600
I _y	cm ⁴	13333	6247	6839	45000	45000
I _z	cm ⁴	13333	6247	6839	20000	20000
W _y	cm ³	1333	694	760	3000	3000
W _z	cm ³	1333	892	760	2000	2000
α	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ _m	KN/m ³	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00
f _{t,0,k}	N/mm ²	7,20	7,20	7,20	8,50	8,50
f _{c,0,k}	N/mm ²	16,00	16,00	16,00	17,00	17,00
f _{m,k}	N/mm ²	14,00	14,00	14,00	16,00	16,00
f _{v,k}	N/mm ²	3,00	3,00	3,00	3,20	3,20
E _m	N/mm ²	7000	7000	7000	8000	8000
G _m	N/mm ²	440	440	440	500	500
K _{mod,I}	/	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
K _{mod,II}	/	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
γ _M	/	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
FC	/	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
f _{t,0,d,I}	N/mm ²	2,84	2,84	2,84	3,36	3,36
f _{t,0,d,II}	N/mm ²	2,13	2,13	2,13	2,52	2,52
f _{c,0,d,I}	N/mm ²	6,32	6,32	6,32	6,72	6,72
f _{c,0,d,II}	N/mm ²	4,74	4,74	4,74	5,04	5,04
f _{m,d,I}	N/mm ²	5,53	5,53	5,53	6,32	6,32
f _{m,d,II}	N/mm ²	4,15	4,15	4,15	4,74	4,74
f _{v,d,I}	N/mm ²	1,19	1,19	1,19	1,26	1,26
f _{v,d,II}	N/mm ²	0,89	0,89	0,89	0,95	0,95
E _d	N/mm ²	4666,67	4666,67	4666,67	5333,33	5333,33
G _d	N/mm ²	293,33	293,33	293,33	333,33	333,33

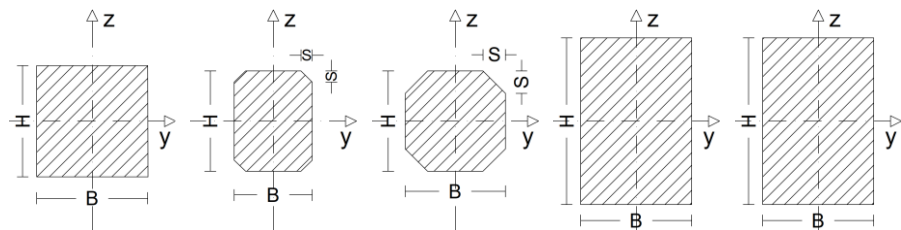


Tabella 3.2.6: Calcolo dei valori di progetto per ogni sezione da verificare

Dove:

B	Base/larghezza della sezione trasversale
H	Altezza della sezione trasversale
S_a	Smusso angolare della sezione uguale per tutte e due gli assi y e z
A_n	Area netta della sezione
I_y	Momento d'inerzia della sezione rispetto l'asse y
I_z	Momento d'inerzia della sezione rispetto l'asse z
W_y	Modulo di resistenza della sezione rispetto l'asse y
W_z	Modulo di resistenza della sezione rispetto l'asse z
α	Angolo inclinazione della falda
ρ_m	Massa volumica media del materiale
$f_{t,0,k}$	Resistenza caratteristica a trazione parallela alla fibratura
$f_{c,0,k}$	Resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura
$f_{m,k}$	Resistenza caratteristica a flessione
$f_{v,k}$	Resistenza caratteristica a taglio
E_m	Modulo elastico longitudinale medio
G_m	Modulo elastico tangenziale medio
$K_{mod,I}$	Coefficiente correttivo per classe di durata del carico media (C_m)
$K_{mod,II}$	Coefficiente correttivo per classe di durata del carico permanente (C_p)
γ_M	Coefficiente parziale di sicurezza
FC	Fattore di confidenza
$f_{t,0,d,I}$	Resistenza di progetto a trazione parallela alle fibre per la classe C_m
$f_{t,0,d,II}$	Resistenza di progetto a trazione parallela alle fibre per la classe C_p
$f_{c,0,d,I}$	Resistenza di progetto a compressione parallela alle fibre per la classe C_m
$f_{c,0,d,II}$	Resistenza di progetto a compressione parallela alle fibre per la classe C_p
$f_{m,d,I}$	Resistenza di progetto a flessione per la classe C_m
$f_{m,d,II}$	Resistenza di progetto a flessione per la classe C_p
$f_{v,d,I}$	Resistenza di progetto a taglio per la classe C_m
$f_{v,d,II}$	Resistenza di progetto a taglio per la classe C_p
E_d	Modulo elastico longitudinale di progetto
G_d	Modulo elastico tangenziale di progetto

Capitolo 4

Valutazione delle azioni

In questo capitolo verranno definiti i carichi caratteristici che gravano sui solai dell'edificio e la definizione delle combinazioni dei carichi da adottare per le verifiche agli stati limite, seguendo la normativa vigente.

4.1. Azioni verticali

Si calcolano i seguenti carichi verticali, distribuiti linearmente sugli elementi oggetto di studio, utilizzando i carichi per unità di volume e di superficie dei singoli elementi che compongono il solaio, ottenuti tramite il confronto tra i parametri forniti dalle NTC 2018 e alcune schede tecniche di varie imprese edili.

Oltre alle tabelle con la dimostrazione dei risultati ottenuti si illustrano di seguito per ogni elemento da verificare gli schemi grafici della disposizione strutturale del diaframma e l'area di influenza dell'elemento ligneo (vedi come esempio Figura 4.1.1), su cui gravano i carichi permanenti e variabili della sezione trasversale di larghezza pari all'interasse delle travi (vedi Figura 4.1.2 come esempio).

CARICHI TRAVETTO 1 (blocco B – piano terra) (vedi Figura 4.1.2)		Massa volumica $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$	Carico distribuito $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right)$	Carico lineare $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)$	
Carichi permanenti strutturali G_1	travetto in legno massiccio d'abete	4.50		0.180	0.276
	tavolato in legno d'abete	4.50		0.096	
Carichi permanenti non strutturali G_2	pavimentazione "alla veneziana"	22.00	1.20	1.122	2.188
	tramezze (NTC_Cap. 3.1.3) controsoffitto in perline di legno d'abete	3.50		0.046	
Carichi variabili Q_k	Categoria edificio A destinazione residenziale (NTC Tab.3.1.II)		2.00	1.700	1.700
TOTALE 4.16 kN/m					

Tabella 4.1.1: Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 1

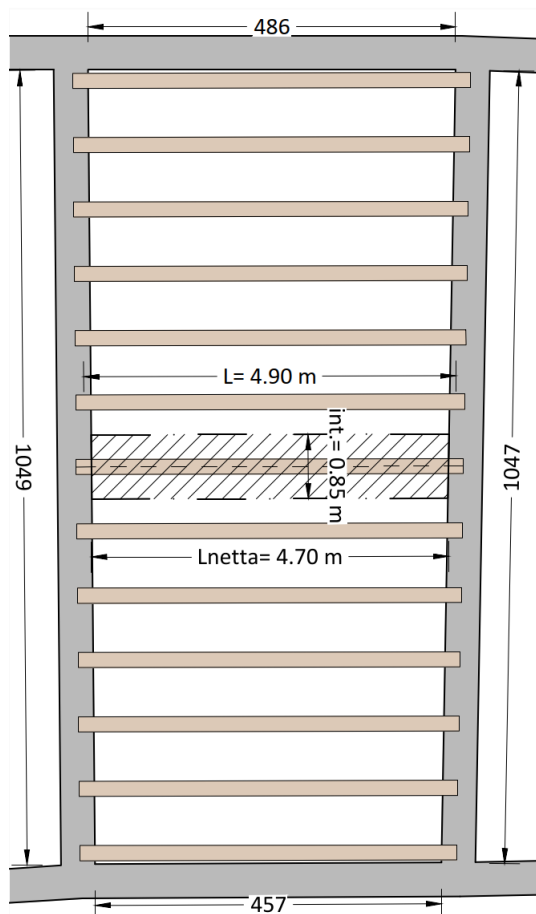


Figura 4.1.1: Travetti del solaio tipo 1 del blocco B del piano terra

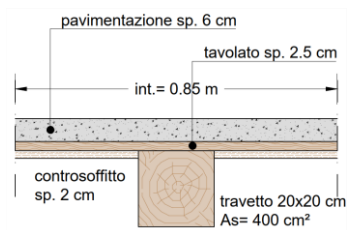


Figura 4.1.2: Sezione trasversale Travetto 1

CARICHI TRAVETTO 2 (blocco D – piano primo) (vedi Figura 4.1.3)		Massa volumica ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$)	Carico distribuito ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$)	Carico lineare ($\frac{\text{kN}}{\text{m}}$)	
Carichi permanenti strutturali G_1	travetto in legno massiccio d'abete	4.50		0.110	0.160
	tavolato in legno d'abete	4.50		0.051	
Carichi permanenti non strutturali G_2	pavimentazione			0.000	0.000
	tramezze			0.000	
	controsoffitto			0.000	
Carichi accidentali Q_k	Categoria edificio A destinazione residenziale (NTC_Tab.3.1.II)		2.00	0.900	0.900
TOTALE 1.06 kN/m					

Tabella 4.1.2_Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 2

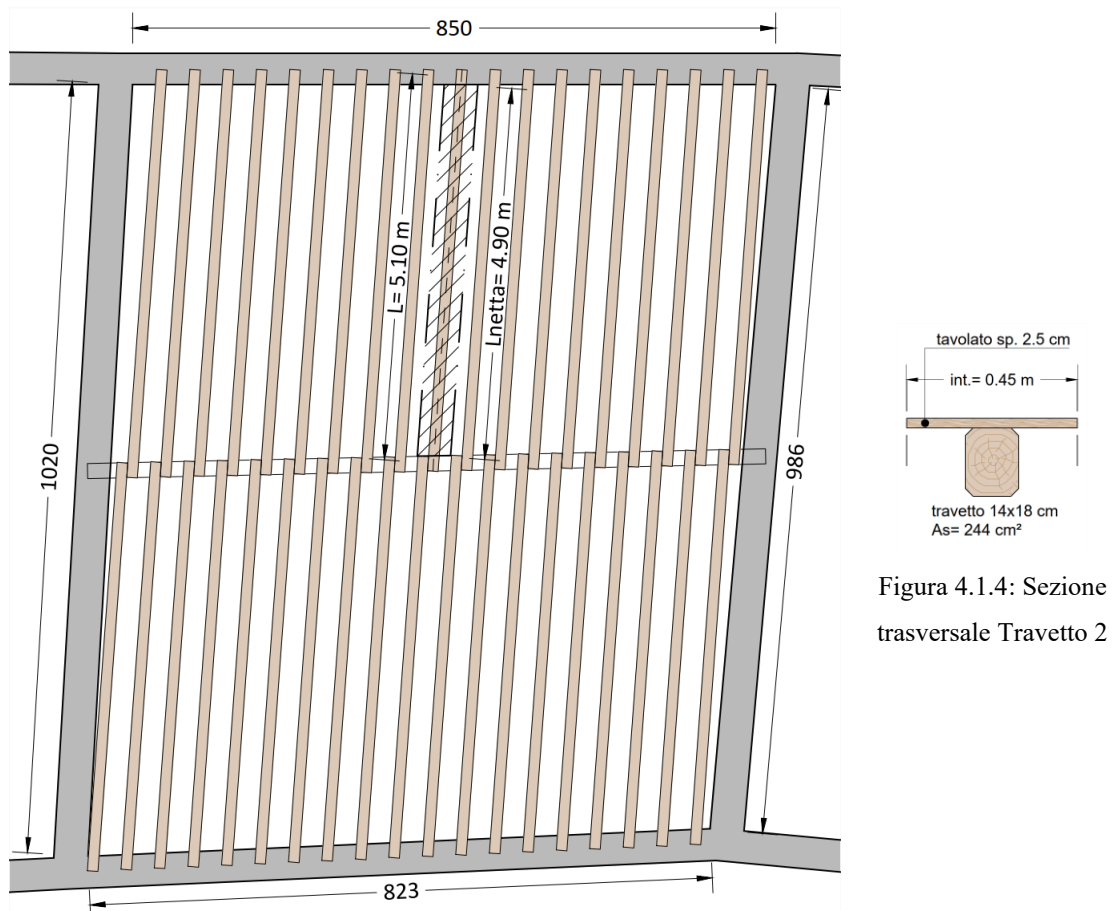


Figura 4.1.4: Sezione trasversale Travetto 2

Figura 4.1.3: Travetti del solaio tipo 2 del blocco D del piano primo

CARICHI TRAVETTO 3 (blocco E – piano primo) (vedi Figura 4.1.5)		Massa volumica ($\frac{kN}{m^3}$)	Carico distribuito ($\frac{kN}{m^2}$)	Carico lineare ($\frac{kN}{m}$)	
Carichi permanenti strutturali G_1	travetto in legno massiccio d'abete	4.50		0.131	0.205
	tavolato in legno d'abete	4.50		0.073	
Carichi permanenti non strutturali G_2	pavimentazione			0.000	0.000
	tramezze			0.000	
	controsoffitto			0.000	
Carichi accidentali Q_k	Categoria edificio A destinazione residenziale (NTC_Tab.3.1.II)		2.00	1.300	1.300
TOTALE 1.50 kN/m					

Tabella 4.1.3: Calcolo delle azioni caratteristiche del Travetto 3

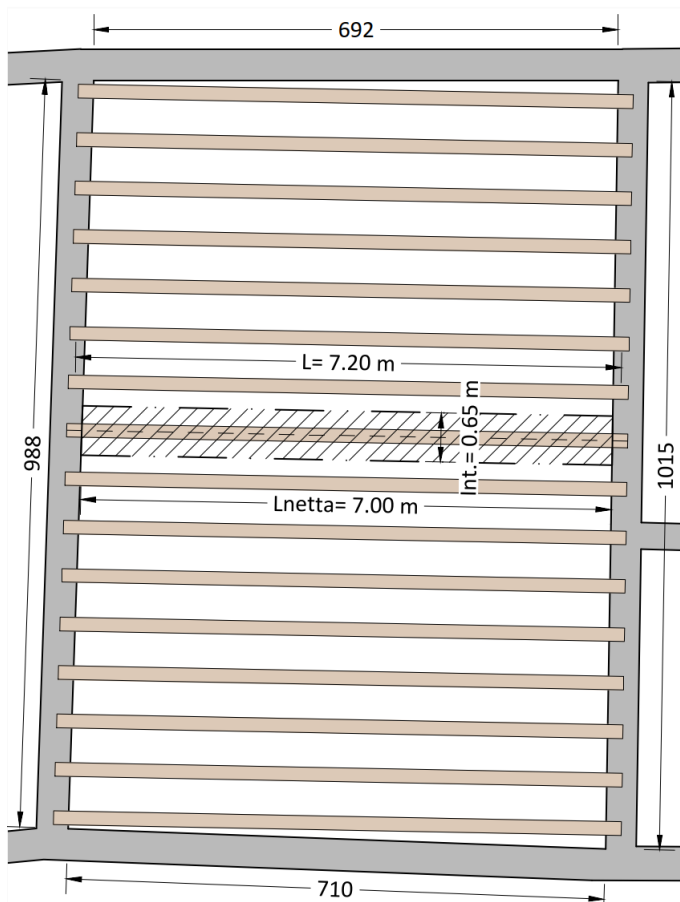


Figura 4.1.5: Travetti del solaio tipo 3 del blocco E del piano primo

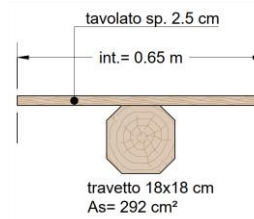


Figura 4.1.6: Sezione trasversale Travetto 3

CARICHI TRAVE 1 (blocco D – piano primo) (vedi Figura 4.1.7)		Massa volumica ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$)	Carico distribuito ($\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$)	Carico lineare ($\frac{\text{kN}}{\text{m}}$)	
Carichi permanenti strutturali G_1	Trave rompitratta in legno massiccio d'abete	5.00		0.300	2.117
	travetti in legno massiccio d'abete	4.50		1.254	
	tavolato in legno d'abete	4.50		0.563	
Carichi permanenti non strutturali G_2	pavimentazione			0.000	0.000
	tramezze			0.000	
	controsoffitto			0.000	
Carichi accidentali Q_k	Categoria edificio A destinazione residenziale (NTC Tab.3.1.II)		2.00	10.000	10.000
TOTALE 12.12 kN/m					

Tabella 4.1.4: Calcolo delle azioni caratteristiche della Trave 1

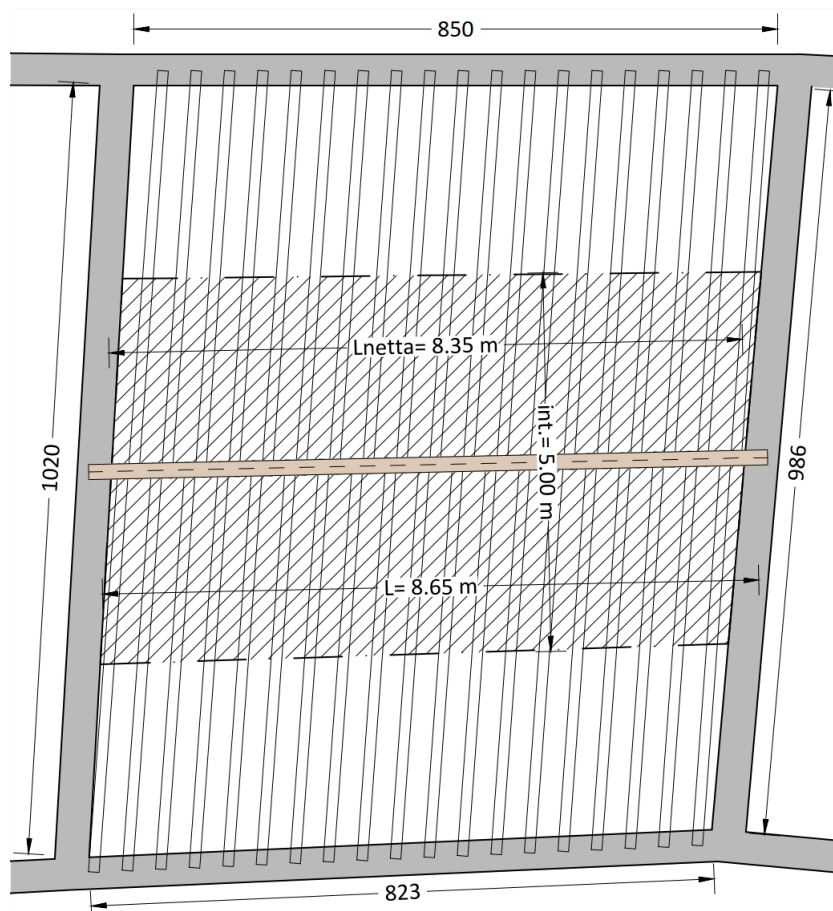


Figura 4.1.7: Trave rompitratta del solaio del blocco D del piano primo

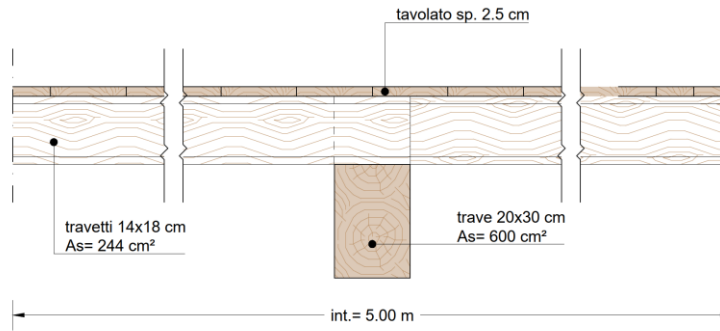


Figura 4.1.8: Sezione trasversale Trave 1

CARICHI TRAVE 2 (blocco E – piano terra) (vedi Figura 4.1.9)		Massa volumica $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$	Carico distribuito $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right)$	Carico lineare $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)$	
Carichi permanenti strutturali G_1	trave rompitratta in legno massiccio d'abete	5.00		0.300	1.488
	travetti in legno massiccio d'abete	4.50		0.783	
	tavolato in legno d'abete	4.50		0.405	
Carichi permanenti non strutturali G_2	pavimentazione			0.000	0.000
	tramezze			0.000	
	controsoffitto			0.000	
Carichi accidentali Q_k	Categoria edificio A destinazione residenziale (NTC_Tab.3.1.II)		2.00	7.200	7.200
TOTALE 8.69 kN/m					

Tabella 4.1.5: Calcolo delle azioni caratteristiche della Trave 2

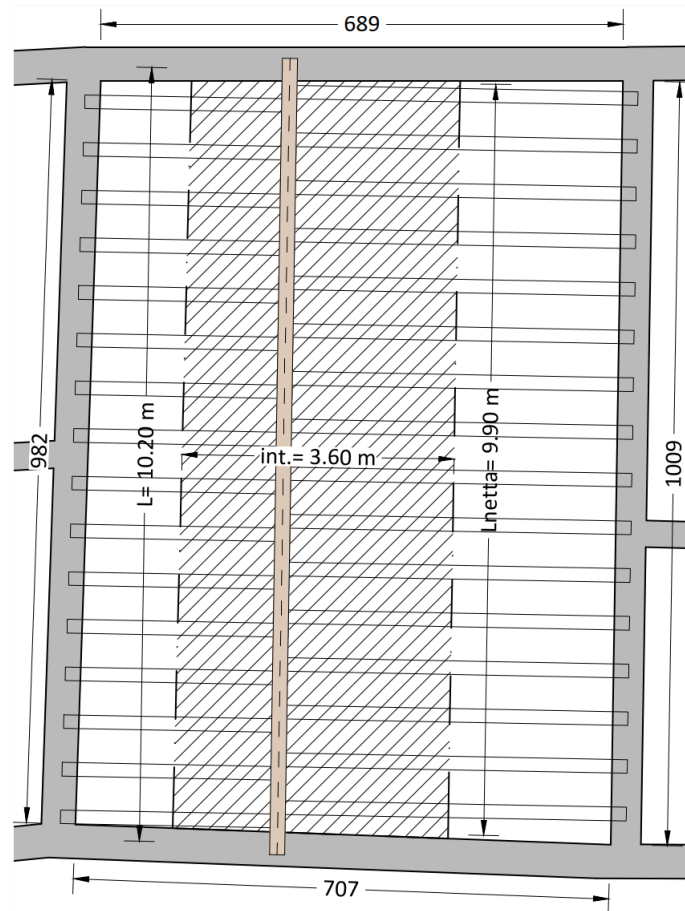


Figura 4.1.9: Trave rompitratta del solaio del blocco E del piano terra

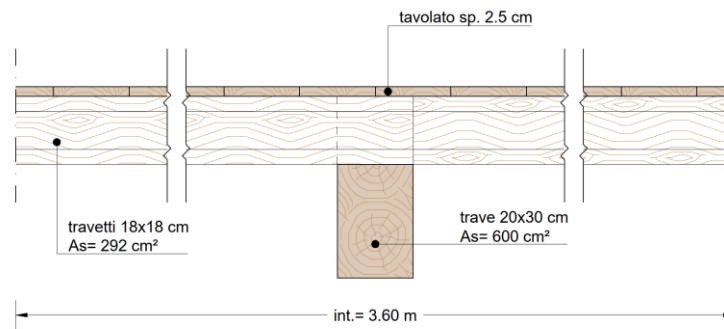


Figura 4.1.10: Sezione trasversale Trave 2

4.2. Combinazioni dei carichi

Si procede con la definizione delle combinazioni di carico più adatte per la verifica agli stati limite ultimi degli elementi lignei oggetto di studio.

La normativa NTC adotta la seguente combinazione di carico fondamentale per gli SLU (Cap. 2.5.3. - NTC):

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

Dove:

- G_1 Valore caratteristico dei carichi permanenti strutturali
- G_2 Valore caratteristico dei carichi permanenti non strutturali
- Q_{kj} Valore caratteristico delle azioni variabili
- γ_{G1} Coefficiente di sicurezza parziali per le azioni permanenti strutturali
- γ_{G2} Coefficiente di sicurezza parziali per le azioni permanenti non strutturali
- γ_{Qj} Coefficiente di sicurezza parziali per le azioni variabili
- $\psi_{0j}, \psi_{1j}, \psi_{2j}$ Coefficienti di combinazione per le azioni variabili

Consultando la Tabella 4.2.1 sottoindicata per i coefficienti parziali di sicurezza si adotteranno i valori della seconda colonna A1 relativa agli stati limite di resistenza della struttura.

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Tabella 4.2.1: Coefficienti parziali per le azioni nelle verifiche SLU - Tab.2.6.I NTC 2018 [5]

Infine, osservando la Tabella 4.2.2 (Tab. 2.5.I – NTC) si ricaveranno i valori dei coefficienti da applicare nella combinazione fondamentale della “Categoria A – ambienti ad uso residenziale” vista la destinazione d’uso dei solai lignei al piano primo e secondo del fabbricato.

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Tabella 4.2.2: Valori dei coefficienti di combinazione - Tab.2.5.I NTC 2018 [5]

Capitolo 5

Verifica agli stati limite dei solai lignei in condizioni attuali

In questo capitolo si andranno infine a verificare le sezioni degli elementi strutturali dei solai lignei presi in considerazione nel nostro caso studio, utilizzando le formule e le relazioni indicate nelle NTC 2018 e nell'Eurocodice 5. Per tali verifiche si utilizzerà il metodo degli stati limite ultimi per le tensioni normali, considerando che le tensioni interne delle sezioni oggetto di verifica si possano calcolare nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare ed elastica tra tensioni e deformazioni fino alla rottura.

In questo caso studio verranno eseguite solamente le verifiche per flessione e taglio, senza la necessità di fare delle verifiche per trazione e compressione parallela alle fibre, perché non avendo considerato carichi orizzontali non avremo di conseguenza sollecitazioni di sforzo normale alla sezione. E non sarà considerata la verifica per trazione e compressione perpendicolare alle fibre in corrispondenza degli appoggi della trave.

5.1. Parametri di sollecitazione

In questo caso studio gli elementi che dobbiamo verificare saranno travi isostatiche semplicemente appoggiate; quindi, avremo il seguente schema statico riportato in Figura 5.1.1, con i relativi diagrammi del momento flettente e dello sforzo di taglio:

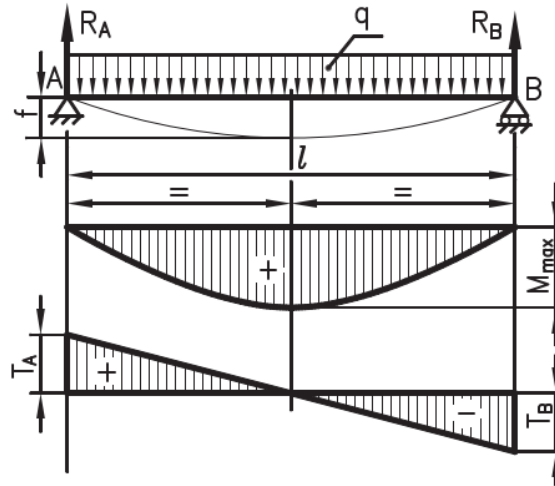


Figura 5.1.1: Schema statico trave semplicemente appoggiata

Avremo le seguenti relazioni per il calcolo delle reazioni vincolari negli appoggi e i parametri di sollecitazione di momento flettente e sforzo di taglio.

Reazioni vincolari agli estremi della trave:

$$R_A = R_B = \frac{q \times l}{2}$$

Momento flettente agli estremi della trave:

$$M_A = M_B = 0$$

Momento flettente massimo (in questo caso in mezzogiorno della trave):

$$M_{max} = \frac{q \times l^2}{8}$$

Sforzo di taglio massimo (in questo caso agli estremi della trave):

$$T_A = +R_A = +\frac{q \times l}{2}$$

$$T_B = -R_B = -\frac{q \times l}{2}$$

Trattandosi di travi in semplice appoggio possiamo verificare gli elementi lignei solamente con una combinazione di carico in condizioni sfavorevoli, ma sarebbe opportuno applicare due combinazioni di carico, una per casistica, visto le differenti classi di durata del carico avendo diverse tipologie di carico per ogni sezione da verificare (vedi

Tabella 3.2.3). Quindi, sarà necessario fare una doppia verifica, prima considerando una combinazione fondamentale I che terrà conto di tutte le tipologie di carico, permanente strutturale e non strutturale e variabile, mentre la combinazione fondamentale II terrà conto solo dei carichi permanenti fissi. Perciò nel primo caso potremmo avere valori elevati delle sollecitazioni interne, ma allo stesso modo resistenze di progetto maggiori, rispetto al secondo caso che avremo sollecitazioni minori come anche per le resistenze di progetto. Vedi Tabella 3.2.6.

Quindi, considerando la formula sottoindicata e adottando i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni in condizioni sfavorevoli (Tabella 4.2.1), il carico lineare di progetto q da applicare agli elementi sarà pari a:

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

Travetto 1 (Tab.4.1.1)	$1.3 \times 0.276 + 1.5 \times 2.188 + 1.5 \times 1.700 =$	6.19 kN/m
Travetto 2 (Tab.4.1.2)	$1.3 \times 0.160 + 1.5 \times 0.000 + 1.5 \times 0.900 =$	1.56 kN/m
Travetto 3 (Tab.4.1.3)	$1.3 \times 0.205 + 1.5 \times 0.000 + 1.5 \times 1.300 =$	2.22 kN/m
Trave 1 (Tab.4.1.4)	$1.3 \times 2.117 + 1.5 \times 0.000 + 1.5 \times 10.000 =$	17.75 kN/m
Trave 2 (Tab.4.1.5)	$1.3 \times 1.488 + 1.5 \times 0.000 + 1.5 \times 7.200 =$	12.73 kN/m

Tabella 5.1.1: Valori delle azioni di progetto Combinazione I

Travetto 1 (Tab.4.1.1)	$1.3 \times 0.276 + 1.5 \times 2.188 + 0.0 \times 1.700 =$	3.64 kN/m
Travetto 2 (Tab.4.1.2)	$1.3 \times 0.160 + 1.5 \times 0.000 + 0.0 \times 0.900 =$	0.21 kN/m
Travetto 3 (Tab.4.1.3)	$1.3 \times 0.205 + 1.5 \times 0.000 + 0.0 \times 1.300 =$	0.27 kN/m
Trave 1 (Tab.4.1.4)	$1.3 \times 2.117 + 1.5 \times 0.000 + 0.0 \times 10.000 =$	2.75 kN/m
Trave 2 (Tab.4.1.5)	$1.3 \times 1.488 + 1.5 \times 0.000 + 0.0 \times 7.200 =$	1.93 kN/m

Tabella 5.1.2: Valori delle azioni di progetto Combinazione II

Infine, nella Tabelle 5.1.3 e 5.1.4 si riportano tutti i valori delle sollecitazioni di ogni elemento da verificare, necessari per le verifiche SLU.

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
q (kN/m)	6,19	1,56	2,22	17,75	12,73
L (m)	4,90	5,10	7,20	8,65	10,20
R _A (kN)	15,16	3,97	7,98	76,78	64,95
R _B (kN)	15,16	3,97	7,98	76,78	64,95
M _{max} (kNm)	18,58	5,07	14,36	166,03	165,62
T _A (kN)	15,16	3,97	7,98	76,78	64,95
T _B (kN)	-15,16	-3,97	-7,98	-76,78	-64,95
T _{max} (kN)	15,16	3,97	7,98	76,78	64,95

Tabella 5.1.3: Valori delle sollecitazioni interne di ogni elemento da verificare Combinazione I

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
q (kN/m)	3,64	0,21	0,27	2,75	1,93
L (m)	4,90	5,10	7,20	8,65	10,20
R _A (kN)	8,92	0,53	0,96	11,90	9,87
R _B (kN)	8,92	0,53	0,96	11,90	9,87
M _{max} (kNm)	10,92	0,68	1,72	25,74	25,16
T _A (kN)	8,92	0,53	0,96	11,90	9,87
T _B (kN)	-8,92	-0,53	-0,96	-11,90	-9,87
T _{max} (kN)	8,92	0,53	0,96	11,90	9,87

Tabella 5.1.4: Valori delle sollecitazioni interne di ogni elemento da verificare Combinazione II

I valori “L” della luce della trave indicano precisamente la distanza tra i punti di mezzeria degli appoggi. Considerando che la trave sia incassata dentro la muratura di circa 20 cm, si dovrà tener conto che il punto da cui viene misurata la luce sarà a metà della profondità dell'appoggio; quindi, si misurerà la luce netta tra gli intradossi delle pareti aggiungendo 10 cm agli estremi della trave. Questi valori di luce netta e a metà dell'appoggio sono già stati indicati nel precedente Capitolo 4 “Valutazione delle azioni”, nelle figure che indicano la struttura interna dei solai e l'area di influenza di ogni elemento ligneo oggetto di verifica.

5.2. Verifiche agli stati limite ultimi

5.2.1. Verifica a flessione

Per verificare che la resistenza di progetto a flessione della trave sia maggiore dello sforzo di flessione agente, si dovranno utilizzare le seguenti formule:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Mentre le tensioni per flessione verranno calcolate tramite le seguenti formule:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

Dove:

$\sigma_{m,y,d}$
 $\sigma_{m,z,d}$ sono le tensioni di progetto massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione; vedi figura 5.2.1

$f_{m,y,d}$
 $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze di progetto a flessione

k_m è il coefficiente che tiene conto convenzionalmente della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale
 $k_m = 0.7$ per sezioni trasversali rettangolari
 $k_m = 1.0$ per altre sezioni trasversali

$M_{y,d}$ sono i momenti flettenti di progetto rispettivamente lungo gli assi y e z ;
 $M_{z,d}$ vedi figura 5.1

W_y sono i moduli di resistenza rispetto l'asse y e l'asse z della sezione trasversale
 W_z

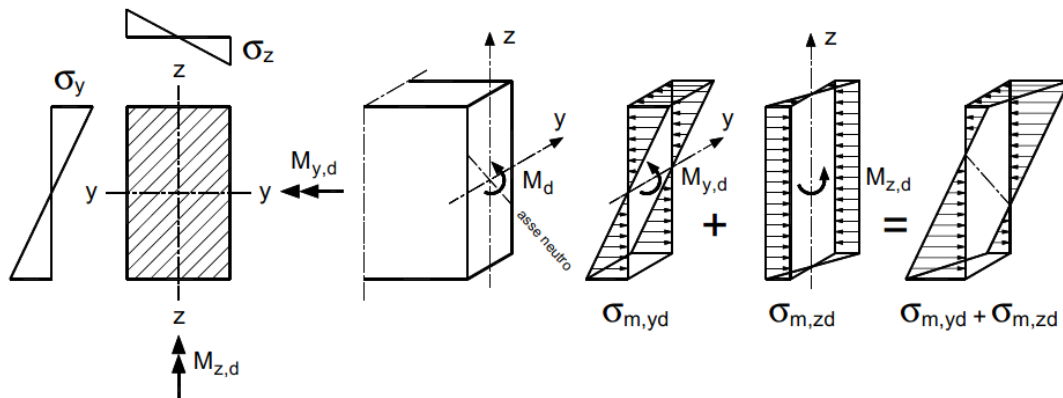


Figura 5.2.1: Distribuzione delle tensioni interne di una sezione trasversale

Da notare che non sono presenti carichi laterali perpendicolari all'asse z , di conseguenza il momento flettente $M_{z,d}$ sarà nullo, perciò la tensione di progetto per flessione nel piano xy sarà nulla anch'essa:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0.00}{W_z} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

E quindi avremo le seguenti relazioni da verificare:

Verifica a flessione 1: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$

Verifica a flessione 2: $k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
$M_{y,d}$ (kNm)	18,58	5,07	14,36	166,03	165,62
W_y (cm ³)	1333	694	760	3000	3000
$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm ²)	13,93	7,30	18,90	55,34	55,21
k_m	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70
$f_{m,y,d}$ (N/mm ²)	5,53	5,53	5,53	6,32	6,32
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	2,52 > 1 non verificato	1,32 > 1 non verificato	3,42 > 1 non verificato	8,76 > 1 non verificato	8,73 > 1 non verificato
$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	2,52 > 1 non verificato	1,32 > 1 non verificato	3,42 > 1 non verificato	6,13 > 1 non verificato	6,11 > 1 non verificato

Tabella 5.2.1: Verifica a flessione degli elementi lignei Combinazione I

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
$M_{y,d}$ (kNm)	10,92	0,68	1,72	25,74	25,16
W_y (cm ³)	1333	694	760	3000	3000
$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm ²)	8,19	0,98	2,27	8,58	8,39
k_m	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70
$f_{m,y,d}$ (N/mm ²)	4,15	4,15	4,15	4,74	4,74
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	1,97 > 1 non verificato	0,24 < 1 verificato	0,55 < 1 verificato	1,81 > 1 non verificato	1,77 > 1 non verificato
$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	1,97 > 1 non verificato	0,24 < 1 verificato	0,55 < 1 verificato	1,27 > 1 non verificato	1,24 > 1 non verificato

Tabella 5.2.2: Verifica a flessione degli elementi lignei Combinazione II

Osservando la Tabella 5.2.1 applicando la combinazione I si nota che i valori delle tensioni per flessione risultano notevolmente maggiori della resistenza di progetto a flessione; perciò, le sezioni in mezzera delle travi non risultano verificate.

Mentre applicando la combinazione II (Tabella 5.2.2) si notano delle differenze per quanto riguarda le sezioni dei Travetti 2 e 3, le quali resistenze di progetto risultano maggiori rispetto le tensioni per flessione che si creano. Invece, per le sezioni del Travetto 1 e le Travi 1 e 2 non risulta verificata la relazione.

5.2.2. Verifica al taglio

Perché sia verificata la sezione trasversale contro gli sforzi tangenziali deve essere rispettata la seguente relazione:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Per il calcolo della tensione tangenziale di progetto si userà la seguente formula:

$$\tau_d = \frac{1.5 \times V_d}{A_s}$$

Dove:

- τ_d è la massima tensione tangenziale di progetto
- $f_{v,d}$ è la corrispondente resistenza di progetto a taglio
- V_d è lo sforzo di taglio massimo di progetto
- A_s è l'area della sezione trasversale da verificare

Rispetto al caso dei travetti dove si verificherà la sezione in corrispondenza degli appoggi, nel caso delle travi rompitratta, ipotizzando un buon collegamento tra la trave e il modiglione, si dovrà verificare la sezione in cui finisce il modiglione ligneo, della sola trave senza considerare la sezione del rinforzo; quindi, sarà necessario determinare il taglio agente in corrispondenza di tale punto.

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
V_d (kN)	15,16	3,97	7,98	61,69	54,12
A_s (cm ²)	400,00	244,00	292,00	600,00	600,00
τ_d (N/mm ²)	0,57	0,24	0,41	1,54	1,35
$f_{v,d}$ (N/mm ²)	1,19	1,19	1,19	1,26	1,26
$\tau_d \leq f_{v,d}$	verificato	verificato	verificato	non verificato	non verificato

Tabella 5.2.3: Verifica al taglio degli elementi lignei Combinazione I

	Travetto 1	Travetto 2	Travetto 3	Trave 1	Trave 2
V_d (kN)	8,92	0,53	0,96	9,56	8,22
A_s (cm ²)	400,00	244,00	292,00	600,00	600,00
τ_d (N/mm ²)	0,33	0,03	0,05	0,24	0,21
$f_{v,d}$ (N/mm ²)	0,89	0,89	0,89	0,95	0,95
$\tau_d \leq f_{v,d}$	verificato	verificato	verificato	verificato	verificato

Tabella 5.2.4: Verifica al taglio degli elementi lignei Combinazione II

Osservando la Tabella 5.2.3 e 5.2.4 in tutte e due le casistiche notiamo che i valori delle tensioni tangenziali risultano minori dei valori di resistenza del materiale; perciò, la relazione risulta verificata per tutte le sezioni trasversali degli elementi lignei, tranne per le travi rompitratta con combinazione I dove le resistenze risultano poco al di sotto dei valori dello sforzo tangenziale;

Capitolo 6

Valutazione interventi di consolidamento strutturale

Vista la situazione attuale dei corpi strutturali che sostengono l'edificio, confrontandosi con le informazioni ottenute nella fase di rilievo e i dati ottenuti dai calcoli di analisi statica, e sentito il parere dell'ingegnere incaricato nell'analisi dell'organismo strutturale del fabbricato e sulla valutazione del suo recupero, si studiano delle soluzioni per il consolidamento statico e sismico delle parti strutturali dell'edificio.

6.1 Interventi sulle fondazioni

In condizioni di progetto le fondazioni in muratura dell'edificio dovranno supportare dei carichi verticali maggiori rispetto alle condizioni attuali, perché avremo degli ulteriori carichi provenienti dalle opere di consolidamento strutturale sulle pareti portanti in muratura e un maggior carico proveniente dal peso proprio dei solai consolidati da opere di rinforzo ed infine i carichi accidentali, essendo più elevati secondo le norme sulle costruzioni attuali. Quindi, prima di intervenire sulle strutture in elevazione, ci sarà bisogno di un intervento di sottofondazione per impedire che le fondazioni cedano localmente insieme all'edificio dovuto all'incremento di carico della struttura.

6.1.1. Lavori di scavo

Per eseguire degli ottimali lavori di rinforzo sulle fondazioni in muratura è necessario realizzare delle sottofondazioni lungo tutto il perimetro esterno del fabbricato.

Inizialmente si procederà con il taglio del marciapiede esterno in cemento liscio che circonda l'edificio tendendosi a circa 50 cm dal perimetro e si eseguirà uno scavo fino a raggiungere il filo inferiore delle fondazioni, dal livello del marciapiede fino ad una profondità di circa 60 cm.

6.1.2. Iniezioni di resine impermeabilizzanti

Successivamente ai lavori di scavo fino a raggiungere le fondazioni, si dovrà procedere con la rimozione degli intonaci esterni fino ad una altezza di circa mezzo metro sopra il livello del marciapiede e la pulizia dei giunti con scarnitura delle malte ammalorate.

Si dovranno stuccare i giunti, i vuoti e le lesioni esterne con delle malte cementizie, per procedere successivamente con le iniezioni di resine impermeabilizzanti partendo dalla parte inferiore delle fondazioni fino ad una altezza di mezzo metro dal livello del marciapiede esterno, principalmente per contrastare il fenomeno di umidità di risalita, ben evidente se si osservano le malte ammalorate degli intonaci delle facciate esterne.

6.1.3. Opere di sottofondazione

In ultimazione si dovrà procedere con la realizzazione di un cordolo di fondazione in cemento armato gettato in opera di sezione di circa 30x40 cm, con l'armatura composta da barre d'acciaio longitudinali e staffe con un certo passo fra loro.

Prima del getto in opera del calcestruzzo per realizzare il cordolo di sottofondazione si ancoreranno sulla fondazione in muratura tenendo un certo passo delle barre d'acciaio che verranno poi agganciate all'armatura del cordolo, in modo fare da ammorsamento tra la sottofondazione e la fondazione esistente e ottenere un buon collegamento favorendo il comportamento d'insieme.

Tale intervento non può essere efficace paragonandosi con un'opera di sottofondazione sia esterna che interna alle fondazioni esistenti, ma comunque risulta essere sufficiente per evitare fenomeni di cedimento fondazionale, diminuendo le tensioni di compressione agenti sul terreno sottostante per l'incremento di superficie delle fondazioni.

L'intervento non prevederà una sottofondazione anche all'intradosso delle fondazioni perché può portare a delle complicazioni per la demolizione parziale delle pavimentazioni interne che si ha intenzione di mantenere, specialmente le pavimentazioni antiche "alla veneziana" del piano terra dell'ala ovest del fabbricato.



Foto 6.1.1: Esempio di sottofondazione con ammorsamento all'esistente – Arcangeli Tullio [8]

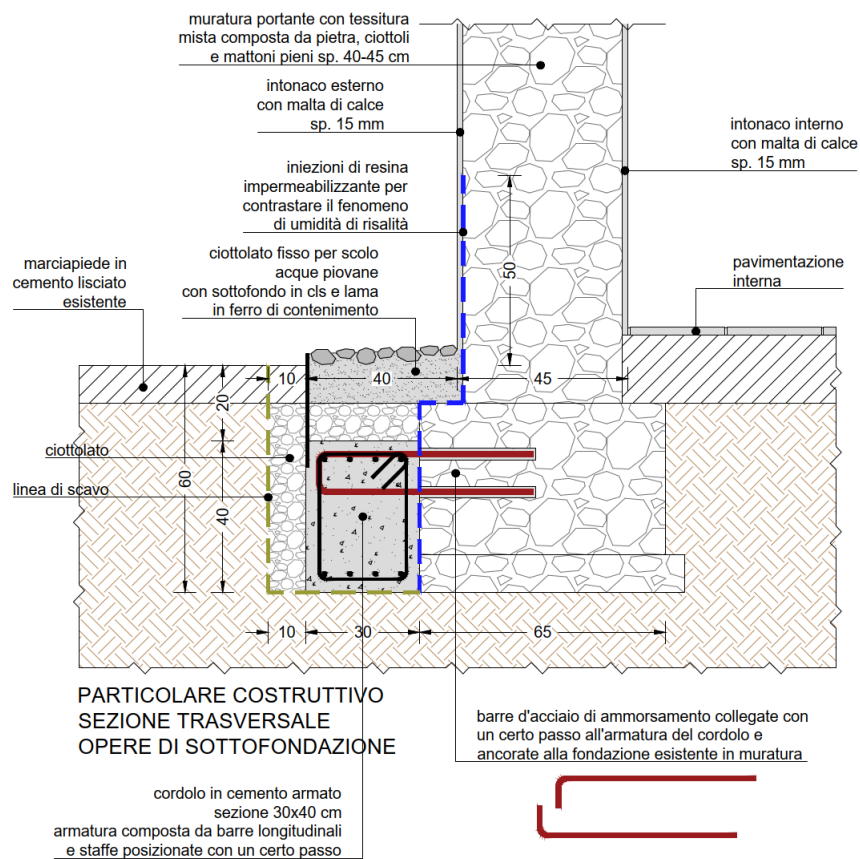


Figura 6.1.1: Particolare costruttivo opere di sottofondazione con ammorsamento – Sezione trasversale

Stato di progetto – scala 1:20

6.2 Interventi sulla muratura portante

Per quanto riguarda gli elementi che compongono la muratura hanno caratteristiche fisiche molto diverse, ciò porta a non ottenere un buon collegamento tra gli elementi, soprattutto per la loro forma geometrica, infatti, la maggior parte degli elementi utilizzati per la realizzazione dei setti sono dei ciottoli di fiume, che essendo molto levigati non garantiscono un buon incastro tra loro. Però c'è da considerare che l'uso di mattoni pieni nei punti critici, cioè in prossimità degli incroci tra pareti portanti ortogonali, consente un buon collegamento tra loro; tuttavia, per quanto riguarda i paramenti murari bisogna procedere con degli interventi di consolidamento strutturale.

6.2.1. Demolizione intonaci interni ed esterni

Prima di realizzare dei rinforzi sulla muratura bisognerà procedere con un intervento di demolizione degli intonaci interni ed esterni, ormai rovinati dal fenomeno di umidità di risalita. Successivamente, si puliranno i giunti con scarnitura delle malte ammalorate, che si distaccano facilmente dalla muratura, ovviamente sempre con una certa cautela senza coinvolgere gli stessi elementi, la quale rimozione potrebbe causare anche dei crolli locali.

6.2.2. Rifacimento intonaco esterno

Per il rifacimento dell'intonaco esterno, si è vincolati dal grado di protezione per gli edifici di importanza storica, perciò si potrà procedere solo con la realizzazione di un intonaco di caratteristiche simili all'originale, senza la possibilità di realizzare un intonaco armato, anche per non coinvolgere gli elementi architettonici di un certo pregio.

Prima di procedere con il rifacimento dell'intonaco si dovranno stuccare i giunti, i vuoti e le lesioni con delle malte cementizie per impedire la fuoriuscita di boiaccia durante le operazioni di iniezioni dal lato interno delle pareti in muratura.

Infine, si potrà ultimare l'opera con la nuova realizzazione dell'intonaco in malta di calce con caratteristiche simili all'originale.

6.2.3. Realizzazione di intonaco armato interno

Per evitare crolli e dissesti locali fuori piano della muratura dovuto ad azioni verticali provenienti dallo stesso peso proprio e dal solaio ed azioni orizzontali sismiche si prevede in fase di progetto un intervento di rinforzo della muratura, utilizzando il sistema FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix – Matrice Cementizia Fibro-Rinforzata), che prevede l'utilizzo di reti di rinforzo, che possono essere d'acciaio oppure reti in fibra di carbonio, basalto o vetro annegate in una matrice di malta di calce o cementizia.

Nel nostro caso si utilizzerà una variante del FRCM, ossia il sistema CRM (Composite Reinforced Mortars – Malte Composite Rinforzate) che prevede l'utilizzo di reti preformate, in questo caso in fibra di vetro, annegate in una matrice di malta cementizia gettata in opera, ottenendo un intonaco armato previsto su entrambi i lati per le pareti portanti interne, mentre per le pareti perimetrali verrà realizzato solo all'interno.

Inizialmente, si poseranno sopra i paramenti murari le reti preformate in fibra di vetro incollati provvisoriamente con l'utilizzo di malta cementizia e agli incroci delle reti angolari con funzione di realizzare una continuità strutturale in corrispondenza degli angoli.

Successivamente, si fisseranno i connettori in acciaio ad "L" sulla muratura con un certo passo fra loro in relazione alle spinte laterali da parte degli elementi esterni della muratura, in base al carico verticale a cui è sottoposto l'elemento murario. I connettori garantiscono il collegamento dell'intonaco armato con l'elemento murario e con il rinforzo realizzato sulla faccia opposta del paramento. Con la posa di un ulteriore rete denominata "fazzoletto" al di sotto della testa ad "L" del connettore si ridurranno le tensioni di compressione. Vedi Foto 6.2.1.



Foto 6.2.1: Esempio di fissaggio di un connettore con “fazzoletto” – EdilTecnico [10]

Infine, si prevede il getto in opera della malta cementizia sul paramento, in modo da realizzare una lastra di rinforzo con sistema CRM, fino ad ottenere uno spessore di massimo 50 mm rispetto il livello del lato approssimativo dell'elemento murario grezzo privo di intonaco. Vedi Figura 6.2.1.

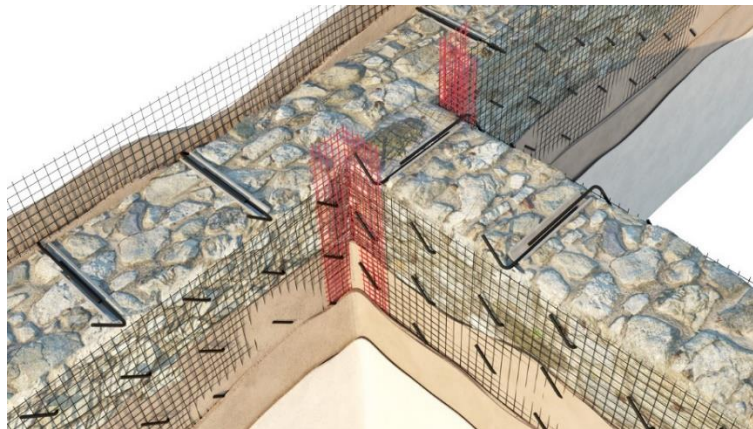


Figura 6.2.1: Esempio di rinforzo strutturale con intonaco armato - Tradimalt [11]

Questi interventi di rinforzo mirano principalmente a migliorare la resistenza agli sforzi di trazione dell'elemento murario grazie all'utilizzo delle reti preformate e punta al confinamento degli elementi da rinforzare.

L'utilizzo dei connettori in acciaio consente una buona collaborazione strutturale fra il paramento murario e l'intonaco armato.

La scelta dell'utilizzo della rete preformata in fibra di vetro, piuttosto che all'utilizzo di una rete elettrosaldata in acciaio, consente la riduzione notevole del carico verticale che grava sulle fondazioni, la riduzione di rigidità e nessun fenomeno di corrosione.

Infine, la scelta del sistema CRM consente di utilizzare una tecnica di consolidamento poco invasiva e più economica, in grado di migliorare le caratteristiche meccaniche della struttura muraria, in particolare contro gli sforzi tangenziali.

6.2.4. Iniezione di miscele leganti

A maturazione completa dell'intonaco armato, verranno scelti i punti idonei per le iniezioni per il consolidamento dei paramenti murari. La realizzazione del reticolo dei fori per il posizionamento dei bocchigli d'iniezione verrà eseguita con interasse tale da garantire una saturazione omogenea della muratura.

Si eseguiranno perforazioni inclinate verso il basso con angolo di circa 45° , con una profondità di circa tre quarti lo spessore del muro e si posizioneranno i bocchigli d'iniezione. Vedi Figura 6.2.2.

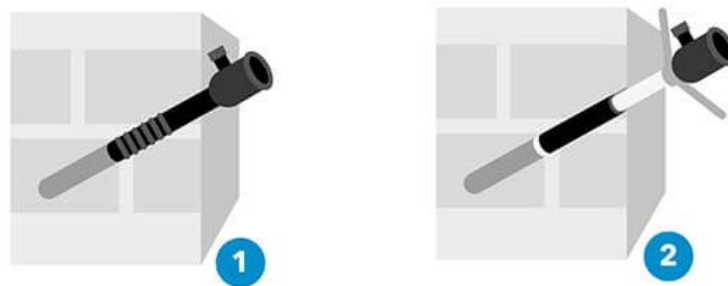


Figura 6.2.2: Esempi di posizionamento dei bocchigli d'iniezione – Yume srl [12]

A questo punto, si inietteranno nel muro partendo dal basso verso l'alto le miscele di boiaccia, impasto di calcestruzzo molto liquido formato da cemento, acqua e aggregato molto fine (sabbia), riempiendo i vuoti e risanando tutte le fessure e le lesioni della muratura. Vedi Foto 6.2.2.



Foto 6.2.2: Esempio di iniezione di boiaccia su muratura – Yume srl [12]

Questa tecnica di intervento di consolidamento è molto utile, la quale consente di aumentare la resistenza dei collegamenti tra gli elementi componenti e incrementare di conseguenza la rigidità del setto, evitando deformazioni locali e favorendo il comportamento d'insieme dell'elemento murario.

La scelta di questo ulteriore intervento è data dal fatto che non avendo la possibilità di realizzare un intonaco armato anche sulla facciata esterna del fabbricato si ritiene necessaria anche tale opera per motivi di sicurezza, oltre al fatto che la muratura è sempre bene che sia risanata da eventuali crepe e lesioni interne.

Particolare attenzione deve essere rivolta all'eventuale fuoriuscita della miscela dalla muratura sulla facciata esterna, priva di un intonaco che faccia da cassero al getto della boiaccia molto liquida, però tale problema è risolvibile tramite un lavoro accurato di stuccatura delle fessure e dei giunti tra gli elementi componenti, come previsto nel progetto.

Infine, per l'illustrazione degli interventi di consolidamento della muratura si rimanda agli elaborati grafici presenti nel sottocapitolo 6.4.1. Vedi Figura 6.4.1 e 6.4.2.

6.3 Interventi sui solai in legno

Avendo analizzato la situazione attuale degli impalcati in legno e dopo aver sentito il parere dell'ingegnere, si descrivono le seguenti proposte progettuali di consolidamento strutturale.

6.3.1. Demolizione pavimentazioni e tavolato

Prima di tutto, si dovranno demolire le pavimentazioni “alla veneziana” e l'assito ligneo ormai vetusto e rovinato da funghi ed insetti xilofagi, che possono alterare le proprietà meccaniche del legno.

Senza tale intervento, con la demolizione delle parti non recuperabili, non si potrà intervenire correttamente per il rinforzo dei solai, con l'obiettivo di creare una struttura di rinforzo agganciata alla parte risanata e pulita da parti ammalorate del solaio esistente.

6.3.2. Risanamento travatura lignea

Successivamente si dovranno rinforzare le travi in legno, essendo recuperabili per quanto riguarda l'aspetto fisico e strutturale. Il loro restauro può dare un aspetto più rustico agli interni del complesso, piuttosto che realizzare un solaio con nuove travi lignee, oltre anche all'aspetto economico per i costi di realizzazione.

Quindi, si dovranno inizialmente smontare le travi tagliandole alle estremità e posandole a terra per intervenire con la scarnitura e la pulizia delle eventuali parti ammalorate. Il rinforzo delle travi può essere fatto tramite delle iniezioni di resine epossidiche andando a riempire i vuoti e risanando le eventuali lesioni e crepe, migliorandone le proprietà meccaniche. Vedi Figura 6.3.1.



Foto 6.3.1: Esempio di stuccatura di resine epossidiche su trave lignea – Edilsystem [13]

In alcuni casi però, si ritiene necessario l'utilizzo di nuove travi in legno con le stesse caratteristiche geometriche dell'esistente, per sostituire le travi che presentano molte parti ammalorate e quindi non recuperabili. Quindi si utilizzeranno delle travi in legno massiccio con una sezione simile e con uno certo smusso, in modo da non notare troppo la differenza tra travi nuove e travi esistenti recuperate;

Successivamente, si realizzerà un cordolo in acciaio utilizzando dei profili ad "C" che verranno fissati direttamente sull'intonaco armato, con ancoraggi che devono raggiungere anche la muratura risanata e con un certo passo in relazione al carico che deve sostenere, da parte delle travi che verranno fissate al cordolo.

La scelta di tale intervento consiste nell'idea di recupero delle caratteristiche originali degli interni, cercando vari metodi per il restauro delle parti strutturali vetuste, come l'intervento di iniezioni di resina epossidica, meno invasivo, con un costo basso e compatibile con tutti i tipi di legno, che favorisce l'incremento della capacità portante, di conseguenza aumentando la resistenza a flessione e al taglio.

Mentre la realizzazione di un cordolo in acciaio mira principalmente ad evitare crolli e spinte locali sulla muratura da parte delle travi e a un buon collegamento tra il solaio ligneo e gli elementi murari favorendo il comportamento scatolare della muratura contro un'azione sismica.

6.3.3. Realizzazione soletta collaborante

Dopo la posa delle travi sul nuovo cordolo in acciaio si andrà a realizzare un nuovo tavolato in legno d'abete di circa 3.0 cm e si valuterà il rinforzo del solaio tramite la realizzazione di una soletta collaborante in cemento armato.

Prima di tutto, si dovrà determinare l'interasse per il fissaggio dei connettori in acciaio in base ai carichi che dovrà portare tale solaio e alle sollecitazioni a cui sarà sottoposto a lavori ultimati. Senza una corretta distribuzione dei connettori lungo le travi la soletta risulta essere un carico permanente aggiuntivo senza capacità strutturale e non collaborante con il solaio in legno. Di norma si dovrà mantenere un passo dei connettori minimo in corrispondenza degli appoggi e massimo in mezzeria e saranno avvitati lungo ogni travetto. Vedi Figura 6.3.2.

Successivamente si procederà con l'armatura della soletta, con la posa sopra il tavolato ligneo di reti elettrosaldate e il posizionamento di pioli in acciaio inclinati di 45° per il collegamento lungo le pareti portanti tra la muratura e la cappa collaborante.

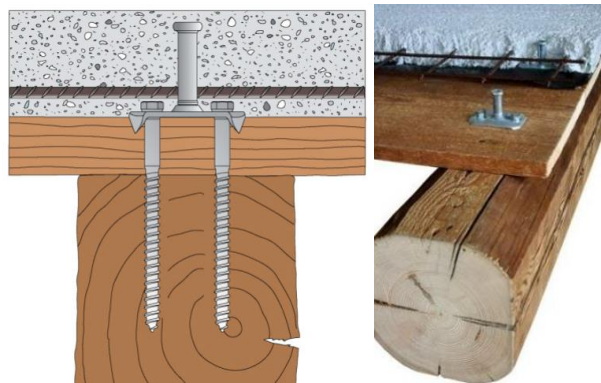


Figura 6.3.1: Esempio di collegamento tramite connettori dei due solai legno - c.a.

Infine, si procederà con il getto in opera del calcestruzzo andando ad annegare l'armatura in acciaio favorendo il comportamento d'insieme della soletta e si realizzerà quindi una lastra armata con uno spessore totale di circa 50 mm rispetto il livello del tavolato, collaborante con il solaio ligneo perché collegata tramite i connettori in acciaio.

Tale intervento di rinforzo consente un incremento della rigidità e della capacità portante del solaio, aumentandone principalmente la resistenza a flessione e diminuendone la deformabilità verticale. Inoltre, si favorisce il comportamento

d'insieme, denominato anche comportamento "scatolare", tra il diaframma del solaio e le pareti in muratura contro le azioni orizzontali sismiche. Vedi figura 6.3.3.

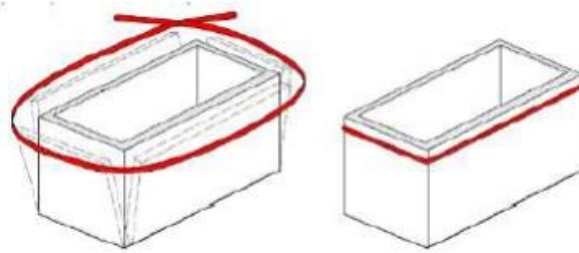


Figura 6.3.2: Comportamento scatolare della muratura portante

La soletta collaborante in c.a. mantenendo una certa rigidezza permette di contrastare la deformabilità nel piano del solaio ligneo durante un'attività sismica, che causa lo spostamento accidentale contro la muratura degli elementi che la compongono. Vedi Figura 6.3.4.

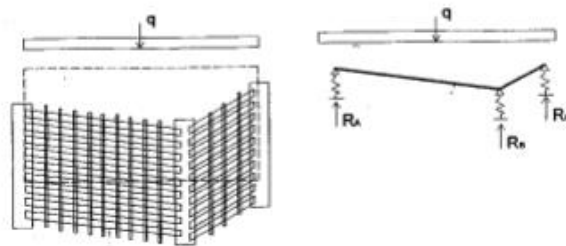


Figura 6.3.3: Esempio esemplificativo della deformabilità nel piano del solaio ligneo

6.4 Interventi generali a livello globale sul fabbricato

6.4.1. Interventi strutturali generali

Per una miglior comprensione degli interventi strutturali che verranno eseguiti si rimanda ai particolari costruttivi dell'incrocio tra la muratura consolidata e il solaio composto in legno e cemento armato. Vedi Figura 6.4.1 e 6.4.2.

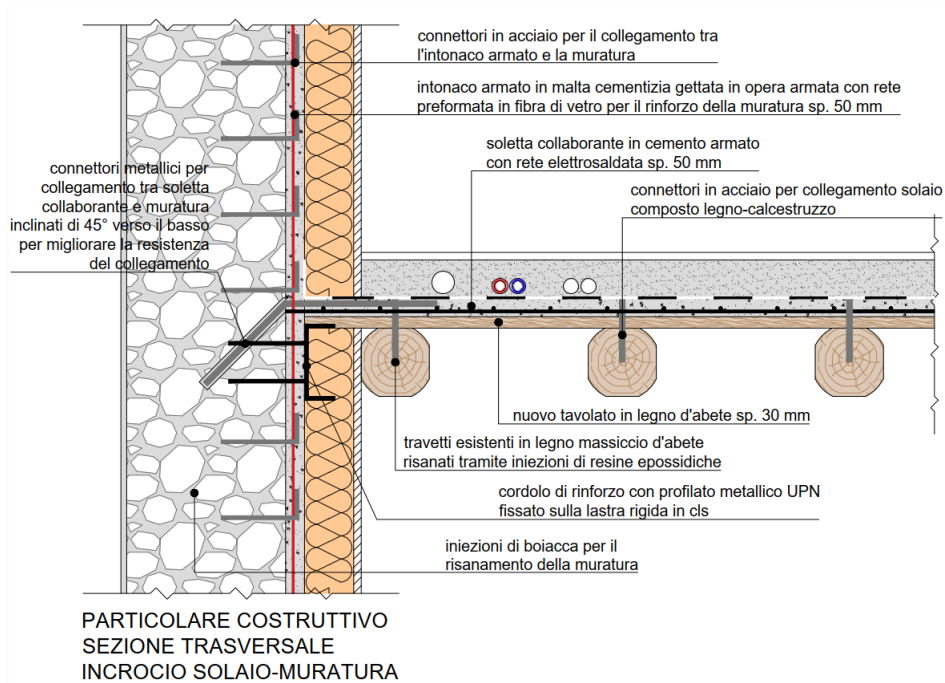


Figura 6.4.1: Particolare costruttivo incrocio solaio muratura – Sezione trasversale

Stato di progetto – scala 1:20

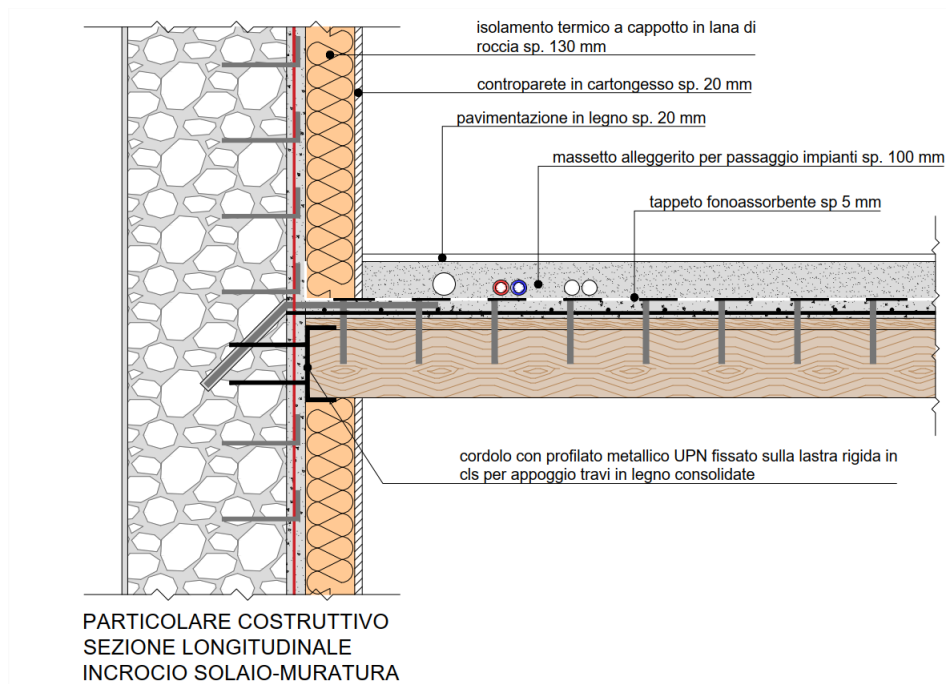


Figura 6.4.2: Particolare costruttivo incrocio solaio muratura – Sezione longitudinale

Stato di progetto – scala 1:20

Per quanto riguarda il consolidamento strutturale ed antisismico a livello globale dei solai lignei della struttura si eseguiranno i seguenti interventi.

Come già descritto nel paragrafo 6.3.2 si realizzerà un cordolo in acciaio lungo le pareti portanti, attorno il perimetro interno di ogni blocco costruttivo al livello del solaio, principalmente per contrastare le spinte laterali dovute alle deformazioni nel piano del diaframma ligneo del solaio durante un evento sismico e favorire un buon collegamento tra gli orizzontamenti e le pareti portanti. Per la realizzazione di questo cordolo di contenimento verranno utilizzati profilati metallici di tipo UPN con forma a “C” e su cui si incastoneranno e fisseranno le travi esistenti recuperate e consolidate insieme alle eventuali travi ex novo in sostituzione agli elementi lignei ammalorati e rovinati.

Attualmente nel blocco A i travetti del solaio del piano terra e primo poggiano su delle pareti in muratura con uno spessore non abbastanza adeguato e non affidabile per il carico che devono sostenere; quindi, a favore di sicurezza verranno poste delle travi in acciaio di tipo HEA collegate al cordolo metallico perimetrale, senza coinvolgere le pareti in muratura.

Nei blocchi D e E ad est del complesso viste le vaste luci su cui si estendono gli elementi lignei, a favore di sicurezza per “spezzare” le distanze di appoggio delle travi si prevede l’eliminazione completa delle travi rompitratta e la realizzazione di nuovi setti in muratura portante collegati alla muratura consolidata, e quindi di conseguenza si andrà a modificare lo schema del diaframma dei solai lignei.

Oltre a ridurre le luci del solaio i setti in muratura hanno lo scopo di controventamento interno evitando deformazioni nel piano della muratura in occasione di un evento sismico, irrigidendo globalmente la struttura resistente dell’edificio. Essi saranno sempre in muratura, per mantenere una rigidità simile alle strutture esistenti, composti da mattoni in laterizio forati di 25 cm di spessore, armati con barre in acciaio verticali e un getto di cls interno per irrigidire l’elemento murario.

Vista la necessità di sostenere il carico dei solai di ogni piano dovranno essere previste delle fondazioni collegate alle sottofondazioni esterne, per favorire sempre l’irrigidimento della struttura; perciò, si realizzerà un cordolo in cemento armato sottostante i setti in muratura.

In linea con la descrizione degli interventi sopra riportati si illustrano gli schemi grafici dello stato di progetto di ogni solaio.

Si consulti la seguente legenda per una miglior comprensione delle piante e delle sezioni:






LEGENDA		opere strutturali di consolidamento (intonaco armato, soletta collaborante, tavolato ligneo)
		cordoli in acciaio a livello degli orizzontamenti (profilati metallici UPN e HEA)
		opere non strutturali (isolamento termo-acustico, pareti in cartongesso, massetto alleggerito)
		opere in muratura portante
		opere in cemento armato



Figura 6.4.3: Pianta solaio piano terra dei blocchi A,B,C

Stato di progetto - scala generica

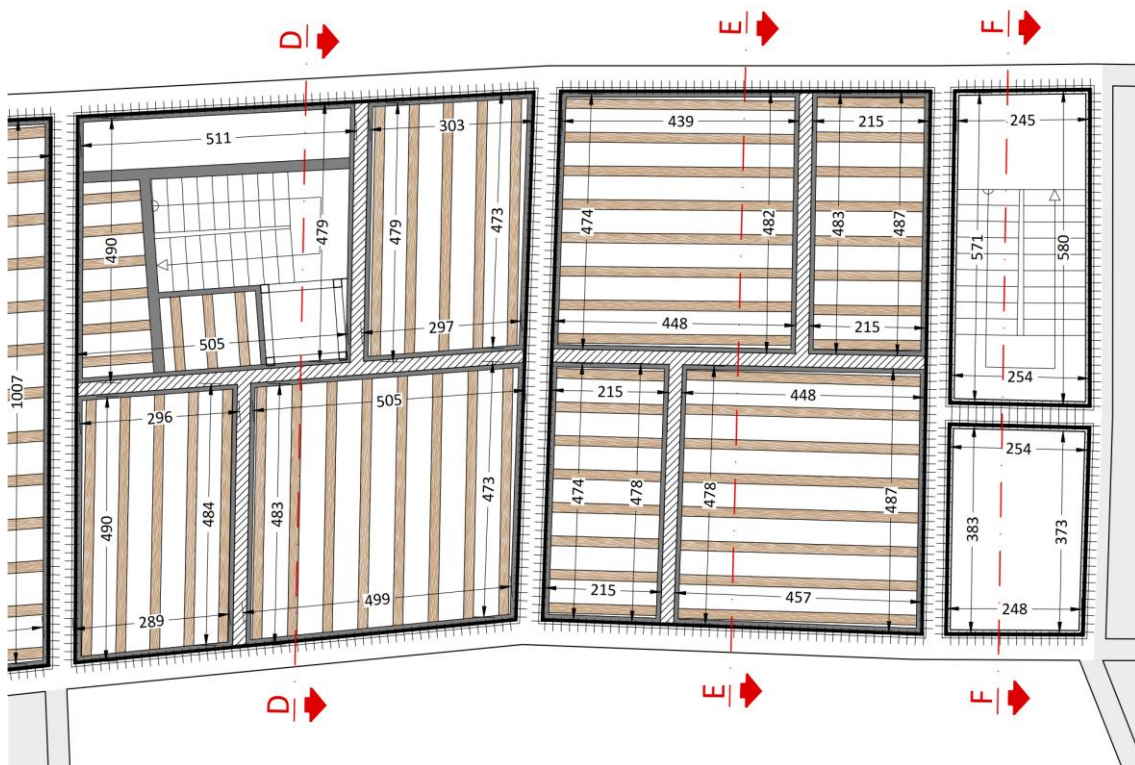


Figura 6.4.4: Pianta solaio piano terra dei blocchi D,E,F

Stato di progetto - scala generica



Figura 6.4.5: Pianta solaio piano primo dei blocchi A,B,C
Stato di progetto - scala generica

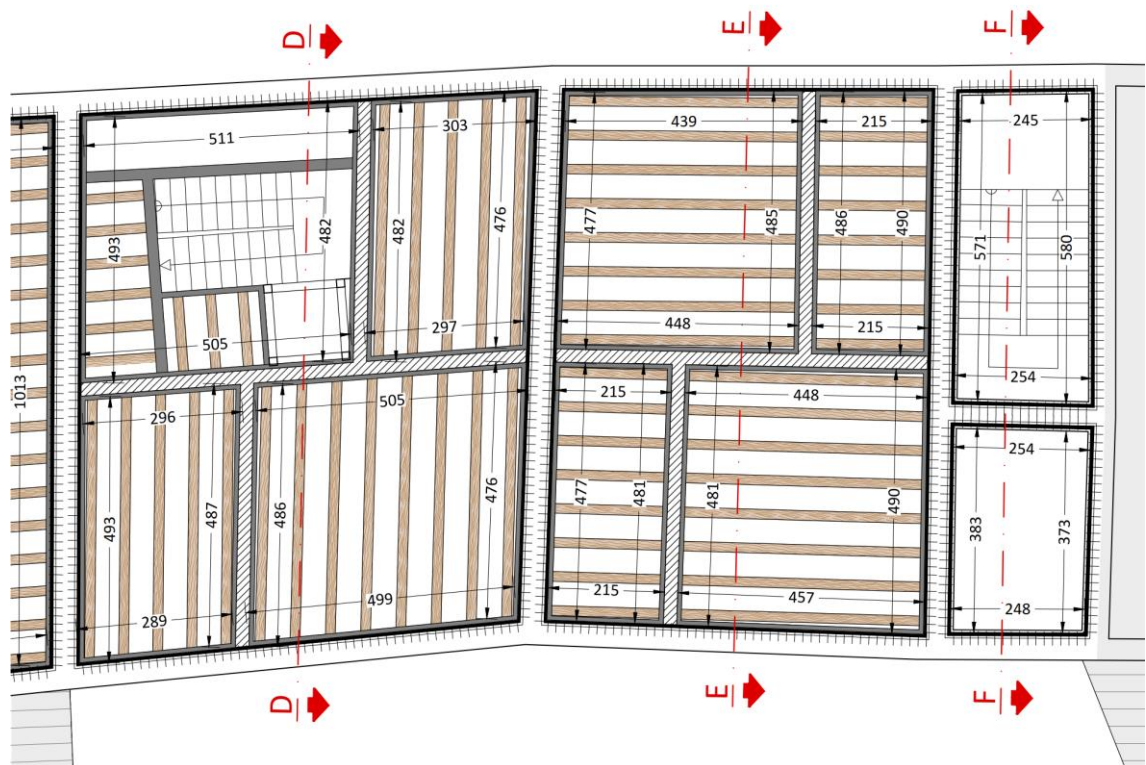


Figura 6.4.6: Pianta solaio piano primo dei blocchi D,E,F
Stato di progetto - scala generica

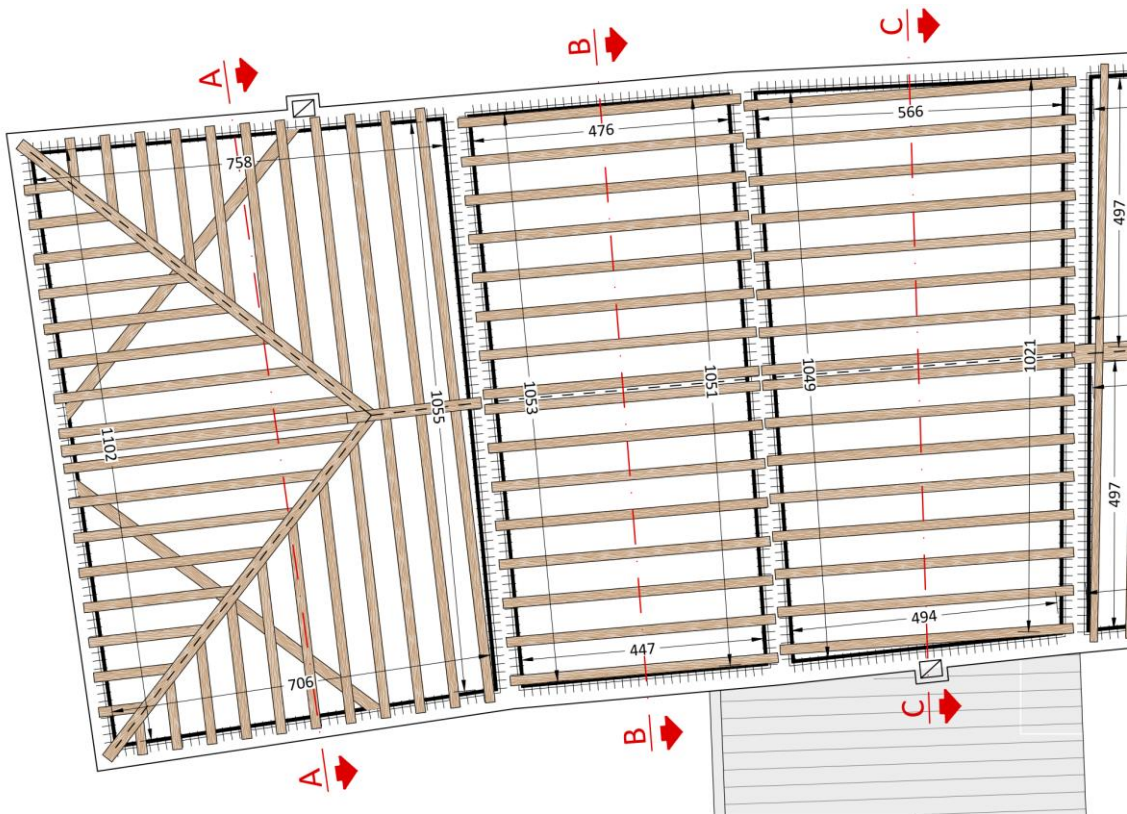


Figura 6.4.7: Pianta copertura dei blocchi A,B,C
Stato di progetto - scala generica

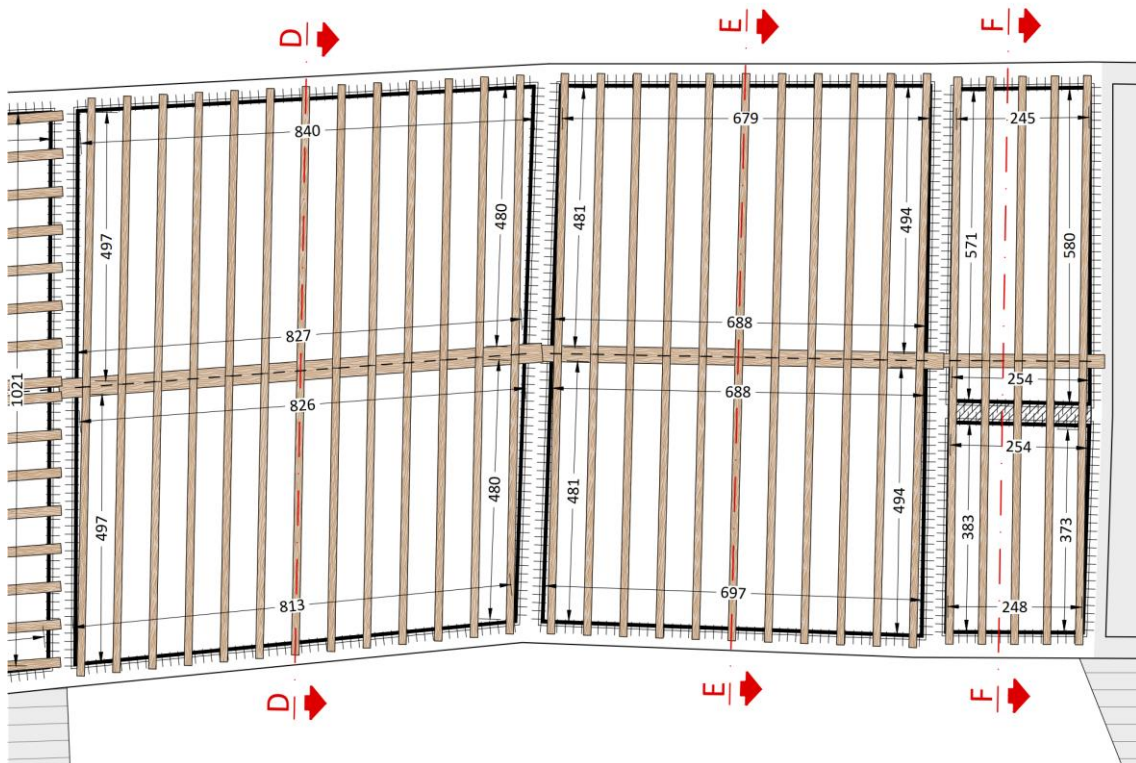
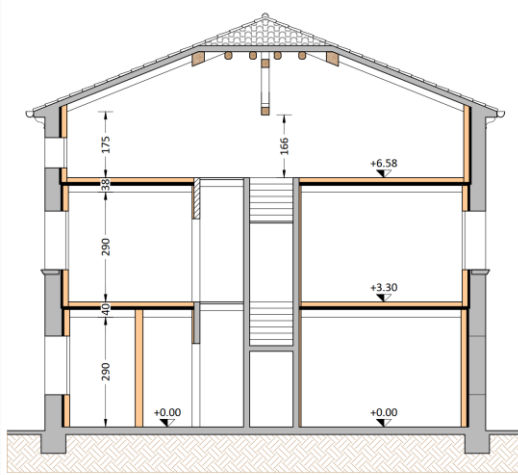
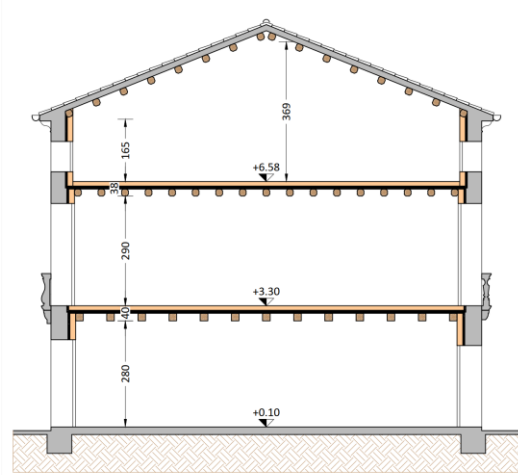


Figura 6.4.8: Pianta copertura dei blocchi D,E,F
Stato di progetto - scala generica



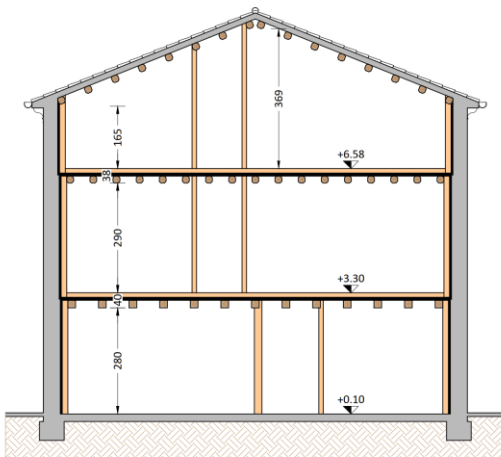
SEZIONE A-A
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.9: Sezione trasversale del blocco A
Stato di progetto – scala 1:200



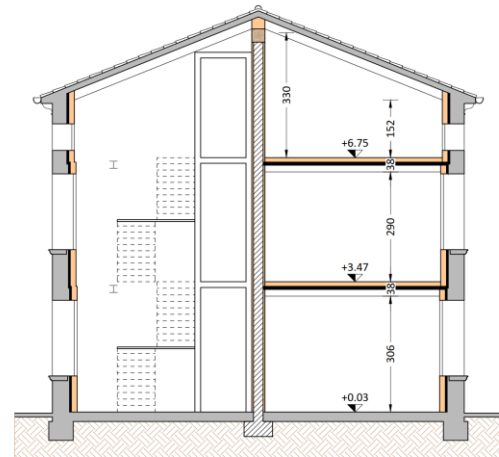
SEZIONE B-B
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.10: Sezione trasversale del blocco B
Stato di progetto – scala 1:200



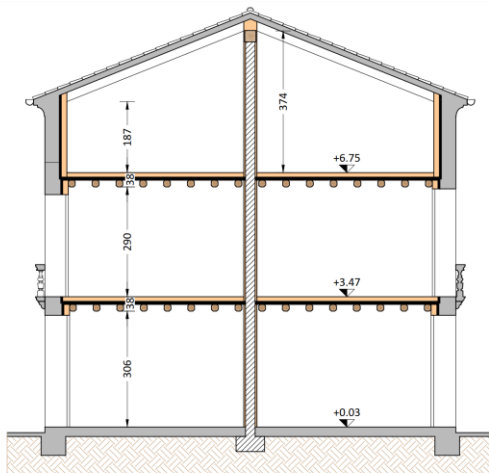
SEZIONE C-C
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.11: Sezione trasversale del blocco C
Stato di progetto – scala 1:200



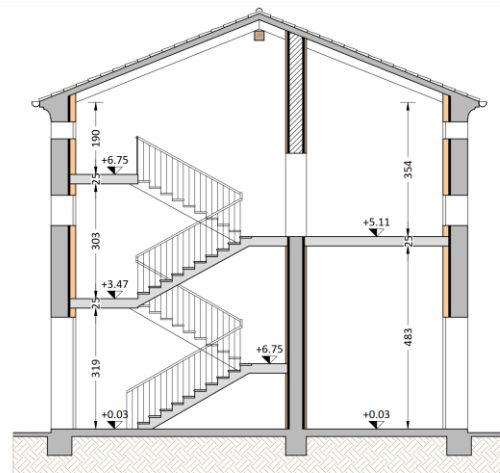
SEZIONE D-D
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.12: Sezione trasversale del blocco D
Stato di progetto – scala 1:200



SEZIONE E-E
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.13: Sezione trasversale del blocco E
Stato di progetto – scala 1:200



SEZIONE F-F
STATO DI PROGETTO

Figura 6.4.14: Sezione trasversale del blocco F
Stato di progetto – scala 1:200

6.4.2. Interventi di miglioramento termoacustico

Per il miglioramento termo-acustico della struttura si procederà con i seguenti interventi, consultando anche gli schemi grafici precedentemente riportati nel paragrafo 6.4.1.

Per quanto riguarda l'aspetto di comfort termico interno, nel progetto si prevede la realizzazione di una contro-parete interna in cartongesso che occuperà uno spessore di 150 mm rispetto il livello dell'intonaco armato e al suo interno tra i montanti del suo telaio verranno posati i pannelli in lana di roccia con spessore di circa 130 mm.

L'utilizzo dell'isolamento a cappotto interno rispetto quello esterno comporta degli svantaggi per quanto riguarda le prestazioni termiche dell'intero edificio perché si presentano vari punti di discontinuità dei pannelli isolanti, tra cui in prossimità degli incroci solaio-parete e gli incroci copertura-parete creandosi così dei ponti termici, ossia delle zone dove si ha maggior dispersione di calore. Purtroppo, l'utilizzo di un sistema a cappotto esterno comporta delle limitazioni perché sarebbe interrotto dagli elementi architettonici che non possono assolutamente essere rimossi, essendo sotto vincolo storico ed essendo di un certo valore.

Mentre per il comfort acustico verranno posizionati dei tappeti fono-assorbenti con spessore di circa 5 mm, al di sotto del getto di massetto alleggerito di circa 100 mm, necessario per il passaggio degli impianti.

Per ogni dubbio e incomprensione si rimanda alle figure 6.4.1 e 6.4.2 del precedente paragrafo 6.4.1.

6.4.3. Interventi di miglioramento del comfort nei locali interni

All'interno della struttura la destinazione d'uso dei locali non ha subito grandi modifiche, mantenendo i locali al piano terra dell'unità ovest adibiti all'uso di ristorazione e per il resto avremo locali ad uso residenziale ma con la divisione in più unità abitative rispetto lo stato attuale e ricavando delle unità residenziali anche al piano secondo.

Sul tema sull'abbattimento delle barriere architettoniche, la normativa prevede interventi di demolizione delle barriere che possano ostacolare il comfort abitativo. Però trattandosi di un fabbricato storico si possono riscontrare delle complicazioni e quindi si dovrà trovare un compromesso per migliorare la comodità e l'ergonomicità dei locali interni, ma allo stesso tempo mantenere le caratteristiche originali del fabbricato.

Nel progetto si prevedono una serie di interventi di demolizione e rifacimento delle pavimentazioni del piano terra di ogni locale e la traslazione dei solai del piano primo e secondo, in modo da livellare i piani di ogni blocco costruttivo del fabbricato in un unico livello. Per rimanere in linea con i davanzali dei balconi esterni, che non possono essere traslati verticalmente, purtroppo si sono potuti livellare solo i solai di ogni unità, avendo quindi un certo dislivello tra l'unità ovest e l'unità est. Questo problema di dislivello al piano primo e secondo tra le due unità è stato risolto tramite la realizzazione di una rampa mantenendo una pendenza massima del 5%.

Per l'accesso all'appartamento del blocco A si manterranno tutte le caratteristiche del vano scale vista l'importanza di recuperare il più possibile le particolarità e decorazioni interne, senza però la possibilità di realizzare un ascensore per facilitare l'accesso ai piani superiori per le persone con disabilità oltre anche semplicemente per questioni di comodità, vista la poca disponibilità di spazio e a complicazioni tecniche.

Per favorire l'accesso agli appartamenti centrali del fabbricato si dovrà disporre dello spazio per un nuovo vano scale nel blocco D, con la creazione di un ulteriore ingresso principale nella facciata Nord e con la realizzazione di scalinate con struttura metallica e una nuova piattaforma elevatrice di modeste dimensioni vista la poca disponibilità di spazio.

Infine, per l'accesso agli appartamenti che stanno più ad est si sposterà l'ingresso principale nella facciata Nord del blocco F e si demoliranno le scalinate dell'unità est recuperando solo gli elementi in pietra e realizzando una nuova scalinata in c.a. in

direzione dell'ingresso. Purtroppo, nemmeno in questo caso non si potrà realizzare una piattaforma elevatrice.

Di seguito si riportano gli schemi grafici dello stato di progetto delle piante con il nuovo assetto e la disposizione dei locali interni.

Per una maggior comprensione riguardo all'uso dei retini negli schemi grafici sotto riportati si segue la seguente legenda:

LEGENDA		UNITÀ AD USO RISTORAZIONE
		UNITÀ AD USO RESIDENZIALE
		LOCALI INTERNI COMUNI AD USO RESIDENZIALE
		UNITÀ NON OGGETTO DI INTERVENTO



Figura 6.4.15: Pianta piano terra
Stato di progetto - scala generica



Figura 6.4.16: Pianta piano primo
Stato di progetto - scala generica



Figura 6.4.17: Pianta piano secondo
Stato di progetto - scala generica

6.4.4. Interventi di ripristino delle facciate

Con l'obiettivo di ripristinare le caratteristiche originali delle facciate e per una questione di maggior agevolazione per la progettazione degli interni si sono fatte delle modifiche con traslazione e modifiche dimensionali dei fori, soprattutto per quanto riguarda l'unità più ad est che ha subito parecchie modifiche nel corso degli anni senza alcun controllo e senza rispettare l'importanza storico-artistica del fabbricato.

Nel blocco F si ricostruiranno tutti i fori dando un tono più caratteristico alla struttura, rispetto al precedente stile molto confusionario e distaccato dallo stile del resto della struttura.

Nel blocco E si demoliranno la parti murate delle porte ad arco, ripristinando le decorazioni che circondano i fori e saranno restaurati gli elementi delle balconate del primo piano con pulizia da funghi e muffe, ricostruendo anche le parti che sono state rimosse nel corso degli anni.

Infine, nel blocco D si modificheranno le finestre al piano terra della facciata Nord mantenendo i fori uguali e in linea con quelli soprastanti e nella facciata Sud si demoliranno tutti gli ampliamenti che risultano delle superfetazioni e saranno ricostruiti i fori delle finestre mantenendoli sempre uguali e in linea con quelle soprastanti.

Di seguito si illustrano i prospetti in condizioni progettuali del fabbricato con la modifica e il ripristino all'originale delle facciate ed infine confrontandosi con le foto dello stato attuale si illustrano i foto-inserimenti con il modello tridimensionale renderizzato dello stato di progetto del fabbricato, realizzato con l'utilizzo del software di disegno grafico Rhinoceros, dando l'idea anche delle nuove modifiche che verranno attribuite ai prospetti con colori delle pitture e delle vernici per decorare il complesso storico.

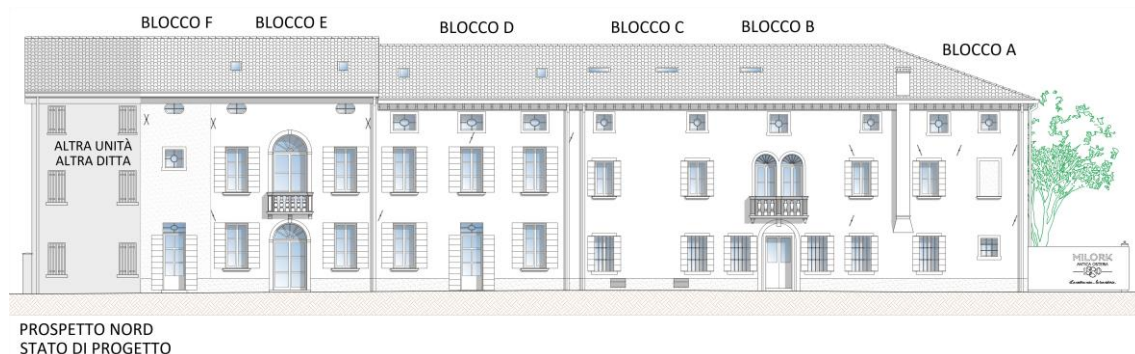


Figura 6.4.18: Prospetto Nord - Stato di progetto - scala generica

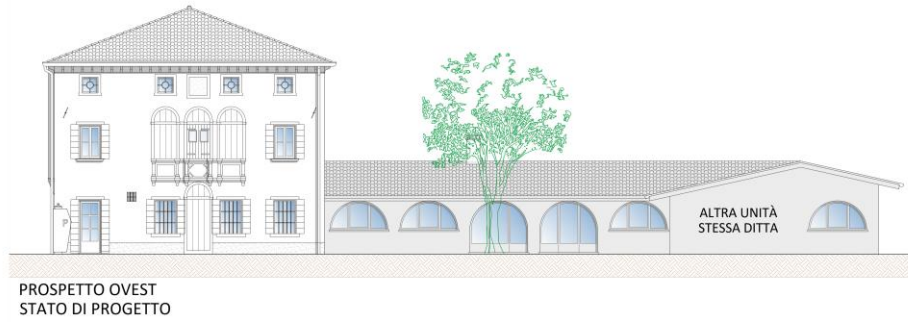


Figura 6.4.19: Prospetto Ovest - Stato di progetto - scala generica

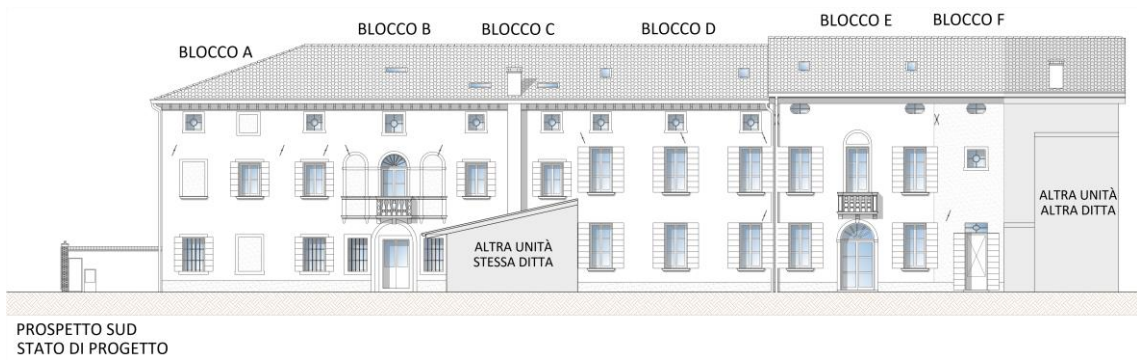


Figura 6.4.20: Prospetto Sud - Stato di progetto - scala generica



Foto 6.4.1: Prospetto Nord – Stato attuale



Figura 6.4.21: Foto-inserimento Prospetto Nord - Stato di progetto



Foto 6.4.2: Prospetto Nord-Ovest – Stato attuale



Figura 6.4.22: Foto-inserimento Prospetto Nord-Ovest - Stato di progetto

Conclusioni

Si conclude l'elaborato con una serie di osservazioni per discutere sui risultati ottenuti e i problemi riscontrati durante il conseguimento degli obiettivi descritti nei capitoli precedenti.

Innanzitutto, il primo problema è sorto dalla poca documentazione storica recuperata, oltre al fatto della difficoltà nel recuperarla; quindi, non si sono potuti ottenere molti dati per la ricostruzione della cronistoria architettonica del fabbricato, le sue modificazioni planivolumetriche nel tempo e gli eventuali eventi distruttivi a cui è stato soggetto. Ma comunque si sono potute raccogliere le informazioni necessarie per ricostruire graficamente l'organismo portante dell'edificio tramite la consultazione delle relazioni tecniche degli interventi strutturali di epoca recente.

Successivamente, nella determinazione delle resistenze caratteristiche per gli elementi lignei dei solai non si sono potute eseguire delle prove meccaniche strumentali sulle travi in legno che si intendeva recuperare quindi non si sono potuti avere dei valori precisi; perciò, si è dovuto procedere con la consultazione delle tabelle delle classi di resistenza del legno strutturale fornite dall'Eurocodice 5 adottando i valori minimi delle resistenze caratteristiche e i moduli di elasticità medi. Sempre a favore di sicurezza, i valori ricavati si sono minimizzati ulteriormente applicando il coefficiente del fattore di confidenza, in base al livello di conoscenza delle caratteristiche fisiche delle strutture lignee.

Quindi, i risultati ottenuti nella fase della verifica delle tensioni normali agli stati limite ultimi non possono essere considerati attendibili per una precisa valutazione strutturale dell'organismo portante, ma comunque attraverso un'attenta indagine visiva si ipotizza il possibile recupero della parte portante dei solai lignei.

Nonostante tali problematiche riscontrate si sono potute definire delle soluzioni di intervento di consolidamento locale e globale della struttura portante del fabbricato e allo stesso tempo il progetto prevede anche delle soluzioni per migliorare il comfort termo-acustico e l'ergonomicità all'interno dei locali.

Infine, il progetto è stato redatto riscontrando una serie di vincoli e problemi, trovando una sorta di compromesso tra il mantenimento degli elementi dell'organismo strutturale, il mantenimento degli elementi architettonici di pregio e l'ergonomicità dei locali interni.

Bibliografia

- [1] COMUNE DI NERVESA DELLA BATTAGLIA “Storia del Comune”
<https://www.comune.nervesa.tv.it/c026050/zf/index.php/storia-comune>
- [2] WIKIPEDIA “Nervesa della Battaglia - Storia”
https://it.wikipedia.org/wiki/Nervesa_della_Battaglia
- [3] GOOGLE Google Earth
https://earth.google.com/web/search/Via+Lasinio,+40,+Nervesa+della+Battaglia,+T/V/@45.81456803,12.20109594,76.87663468a,243.66872114d,35y,351.61642367h,0t,0r/data=CpcBGm0SZwolMHg0Nzc5M2MyZjZmYmMzMThkOjB4MjFiZTkWOWNjYmRiYjg1OBlc5nRZTOhGQCFsvCoG_mYoQCosVmlhIExhc2luaW8sIDQwLCBOZXJ2ZXNhIGRlbGxhIEJhdHRhZ2xpYSwgVFYYAiABIiYKJAm0g3NDcOhGQBF6tDxWK-hGQB10VukdS2goQCG6bm-gK2UoQA
- [4] COMUNE DI NERVESA DELLA BATTAGLIA “Elaborati grafici”
<https://www.comune.nervesa.tv.it/zf/index.php/trasparenza/index/index/categoria/205>
- [5] MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI Decreto Ministeriale del 17/01/2018 “Aggiornamento per le Norme Tecniche per le Costruzioni”
- [6] MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI Circolare del 21/01/2019 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento per le Norme Tecniche per le Costruzioni”
- [7] BRITISH STANDARDS INSTITUTION EN 1995 “Progettazione delle strutture in legno” (Eurocodice 5)

- [8] ARCANGELI TULLIO POZZI E PALIFICAZIONI S.N.C.
<https://arcangelipozzi.it/2018/06/20/consolidamento-strutturale-a-terni-con-arcangeli-tullio-pozzi-e-palificazioni/>
- [9] EDILTECNICO “Fondazioni di edifici storici: sintetica analisi sulle tipologie e modellazione”
<https://www.ediltecnico.it/85657/fondazioni-di-edifici-storici/>
- [10] EDILTECNICO “Intonaco armato CRM, come si applica e quali sono i vantaggi?”
<https://www.ediltecnico.it/74695/intonaco-armato-crm-come-funziona-vantaggi/>
- [11] TRADIMALT “I sistemi Quakeproof Magistra”
<https://blog.tradimalt.com/sistemi-quakeproof/>
- [12] YUME SRL “Consolidamento di murature con le iniezioni di boiacche”
<https://yumesrl.it/servizi/consolidamento-strutturale/consolidamento-murature/>
- [13] EDILSYSTEM “Risanamento strutture lignee”
<http://www.consolidamentistrutturali.it/prodotti/risanamento-strutture-lignee/>
- [14] LECA “Consolidamento statico e antisismico dei solai” <https://www.leca.it/wp-content/uploads/2020/07/Guida-tecnica-consolidamento-solai.pdf>