



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
Costruzione Città

TESI DI LAUREA

Ipotesi di recupero sostenibile di
uno *stadel* settecentesco a Gressoney

Candidata:
Martina Maculan

Relatore:
Andrea Bocco

Torino, dicembre 2020

Alla nonna Mercedes

Indice

Introduzione	1
I Contesto storico-culturale	3
1 Walserfrage	5
1.1 Le origini	5
1.2 Le migrazioni	6
1.3 L'insediamento walser	7
2 I walser nella valle del Lys	11
2.1 La colonizzazione	11
2.2 Il territorio	13
2.3 Gli insediamenti a Gressoney	14
2.4 La casa rurale walser	15
2.5 Evoluzione dell'architettura	18
2.6 Il timpano come indicatore cronologico	22
3 Il recupero dell'architettura tradizionale	25
II Caso studio	27
4 Stato di fatto	29
4.1 Basamento	32
4.2 Scatola lignea	34
4.3 Copertura	35
4.4 Solai e balconi	37
4.5 Strutture e partizioni interne	40
4.6 Aperture	42
5 Legislazione locale vigente	47
6 Progetto	49
6.1 Obiettivi	49
6.2 Interventi sulla distribuzione interna	49
6.3 Interventi sulla struttura	52
6.4 Interventi di riqualificazione energetica	58
6.5 Materiali scelti	69

Considerazioni	73
Bibliografia	75
Libri (opere a stampa)	75
Tesi di laurea/dottorato	75
Sitografia	76
Altro	77
Ringraziamenti	79

Introduzione

A molte persone capita di crescere circondati da beni materiali o naturali senza conoscerne il reale valore. Abitando a Gressoney-Saint-Jean, nel mio caso si tratta degli *stadel* costruiti secoli fa dalla saggezza dei Walser. Imbattermi in questi edifici particolari e inspiegabili, molti dei quali oggi disabitati, ha rappresentato un aspetto costante della mia infanzia. Soltanto durante il tirocinio, svolto a Gressoney, ho iniziato a comprendere la ricchezza storica rappresentata dall'architettura rurale. Ho potuto quindi partecipare alle fasi di rilievo e progetto del recupero di alcuni *stadel*. Uno tra questi, in particolare, ha attirato la mia attenzione per l'ottimo stato di conservazione.

L'idea di questa tesi nasce dalla volontà di entrare in contatto diretto con un esempio dell'architettura tradizionale a me più vicina e mettere alla prova le conoscenze acquisite durante il percorso di studi. Nel secolo scorso si è assistito a una forte trasformazione dell'economia della zona e dello stile di vita, che ha determinato un cambiamento nel modo in cui i fabbricati rurali vengono percepiti e utilizzati. Perciò *stadel* abitati da secoli, che non rispondevano più alle nuove esigenze dei proprietari, sono stati progressivamente abbandonati. Il fine del lavoro che segue è quello di dare nuova vita a un importante lascito della cultura locale, attraverso la salvaguardia dell'identità storica dello *stadel* in esame e l'adattamento agli standard abitativi odierni nel rispetto della normativa vigente. Infatti per incentivare l'interesse per il recupero degli edifici antichi, è indispensabile pensare a una rifunzionalizzazione degli spazi, per adattarli ai bisogni che un'abitazione moderna deve soddisfare.

Un passaggio preliminare di fondamentale importanza è la ricerca sulle origini e sulla cultura dei Walser. Questo permette di comprendere in che modo sono stati costruiti gli *stadel* e a quali esigenze essi rispondevano. I materiali e le tecniche costruttive a disposizione delle diverse comunità nate su entrambe i versanti delle Alpi fanno sì che l'architettura rurale di questi luoghi presenti caratteri comuni. Nel tempo questi si sono evoluti e hanno iniziato a distinguere le numerose specificità locali, tra cui quella di Gressoney. Questa ricerca è in grado di chiarire le ragioni che, nel corso dei secoli, hanno determinato i cambiamenti nelle forme e negli spazi, nelle tecniche e nei materiali impiegati.

L'architettura rurale è sostanzialmente funzionale e trae ispirazione dalla natura. Per mantenere l'approccio ecologico che contraddistingue questi edifici storici, in fase di progettazione si considerano principalmente interventi di recupero che seguano i principi dell'ecosostenibilità. Oltre a scegliere materiali a basso impatto ambientale e lavorazioni che rispettino la preesistenza, è importante anche ponderare quali tecnologie di risparmio energetico possono essere applicate al caso studio e quali riescono realmente a offrire dei vantaggi nell'ottica dei consumi reali.

Parte I

Contesto storico-culturale

Capitolo 1

Walserfrage

Così viene chiamato il dibattito sulle origini del popolo di “infaticabili coloni” che, emigrando dall’Alto Vallese, ha fondato più di 150 insediamenti nel difficile ambiente delle Alpi.

1.1 Le origini

Fonti: testi [1] e [2] in bibliografia.

Come scriveva il famoso storiografo alpino W.A.B. Coolidge, “Non è nota l’epoca nella quale l’uomo è penetrato per la prima volta nel cuore delle valli alpine.” Le prime testimonianze della presenza di abitanti permanenti risalgono alla conquista di quei territori da parte dei Romani, che li consideravano “barbari”, incolti e incivili, e li usavano come guide e portatori nei viaggi attraverso il deserto inospitale delle montagne.

Durante l’Alto Medioevo diversi popoli di origine germanica si spinsero verso sud, alla ricerca di nuove terre in cui stabilirsi, fino a raggiungere la barriera naturale rappresentata dalle Alpi. A uno di questi popoli, gli Alemanni, va fatta risalire la colonizzazione di buona parte della regione nordalpina. Il termine significa letteralmente “tutti gli uomini” e sta a indicare un insieme di diverse tribù appartenenti alla famiglia dei popoli germanici, descritti da Tacito nel *De Germania* (98 d.C.), preziosa testimonianza sugli usi e costumi dei popoli ai confini dell’Impero romano.

“I Germani non abitano mai in borghi o città. Le loro case non sono mai accostate le une alle altre. Essi vivono appartati e “diversi”, dovunque li abbia attirati una sorgente, un campicello, un bosco. Non edificano villaggi come i nostri, né compatti agglomerati di case. Le loro costruzioni sono circondate da vari spazi; forse per sicurezza contro il fuoco, o forse perché non sanno fare altrimenti. Non usano mattoni né tegole, ma legnami rozzi.”

“Sono incolti, ma di costumi sani. [...] Valgono più tra loro i buoni costumi, che altrove le buone leggi.”

Tacito descrive un popolo fiero del proprio individualismo ed estraneo al concetto di Stato, infatti le decisioni importanti venivano prese da assemblee scelte da uomini liberi, organizzazione che si ritroverà anche nelle società walser.

Grazie a un miglioramento climatico e all’incoraggiamento da parte dei monasteri a inoltrarsi nel temuto ambiente della montagna, nel X secolo gli Alemanni ripresero la secolare marcia verso sud alla ricerca di nuove terre da abitare, fino a raggiungere la larga testata della valle del Rodano, chiamata Goms (letteralmente “conca”). Qui fondarono il più antico insediamento d’alta montagna in Europa (1500 metri) di cui si abbia testimonianza e poterono sperimentare la capacità di sopravvivere tutto l’anno in alta quota. I secoli tra

1. Walsenfrage

il XII e il XV, considerati una parentesi “calda” tra l’avanzata dei ghiacciai nell’Alto Medioevo e la cosiddetta “piccola età glaciale”, videro uno sviluppo eccezionale dell’economia agraria in tutta Europa, con l’estesa bonifica delle paludi e dei territori incolti che determinò la migrazione di interi popoli.



Il ghiacciaio di Pré-de-Bar al culmine della sua espansione

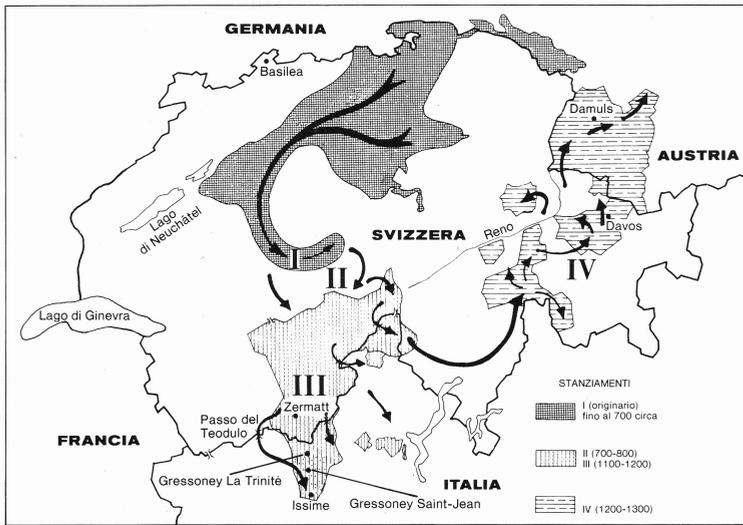
Da questi coloni alemanni sono discesi i “Walser”, contrazione di “Walliser” - dal latino *Vallis* - ossia abitanti del Vallese; in passato qualcuno li riteneva discendenti di misteriosi “uomini dei boschi” (Waldser). Vivere in alta quota tutto l’anno e fare fronte alle difficoltà poste dal clima rigido e dai pericoli della montagna, richiedeva la conoscenza di tecniche specifiche per la trasformazione del territorio – convertire luoghi selvaggi in prati e campi, abbattere il bosco, modificare il corso delle acque, che i Walser perfezionarono nel tempo. Essi poterono così continuare ad emigrare di valle in valle e fondare insediamenti permanenti dove prima si trovavano soltanto alpeggi estivi.

1.2 Le migrazioni

Fonti: testi [1]-[4] in bibliografia

A partire dal XII secolo, alcuni gruppi lasciarono gli insediamenti originari dell’Alto Vallese per insediarsi nelle valli interne (tra cui Binn, Sempione, Saas, St. Niklaus e Lötschental) e, pressoché contemporaneamente, attraversarono i valichi e raggiunsero le valli del versante meridionale delle Alpi. La prima colonia walser fondata fuori dai confini del Vallese fu Formazza, alla fine del XII secolo, direttamente collegata al Goms dal Passo del Gries. Nei primi anni del XIII secolo seguirono altri stanziamenti a sud del Monte Rosa: a Gressoney, nella Valsesia e a Macugnaga.

È importante sottolineare il ruolo svolto dai monasteri nella vicenda della colonizzazione nel versante meridionale delle Alpi. Questi godevano di diritti di signoria su vasti territori ed era loro interesse concederli in affitto per aumentare le rendite; allo stesso tempo erano impegnati a favorire il miglioramento delle



Migrazioni e stanziamenti dei Walser fino al XIV secolo [4]

condizioni di vita dei contadini, ancora sottoposti ai vincoli della servitù della gleba. Successivamente seguì anche la piccola feudalità laica.

Come incentivo alla “colonizzazione economica” di queste terre, veniva offerto il “diritto dei coloni”, istituto nato tra il X e il XIII secolo. In questo periodo l’Europa conobbe un boom demografico che vide la popolazione triplicarsi, aggravando una richiesta che le risorse economiche e sociali e la tecnologia agricola di quel tempo non erano in grado di soddisfare. Si rese necessario espandere le terre coltivate e i monasteri alpini decisero di garantire uno status giuridico favorevole ai contadini disposti ad affrontare l’impresa in alta montagna; le terre bonificate erano concesse in affitto perpetuo alla famiglia del contadino-colono, il quale poteva scegliere il luogo in cui insediarsi; inoltre i coloni godevano di ampie autonomie amministrative – potevano scegliere un “ammano” tra di loro senza l’interferenza del feudatario – e gestivano la giustizia in proprio.

Dal XIII secolo si assistette a nuove migrazioni, talvolta a ritroso, nella parte settentrionale delle Alpi: i Walser si spinsero nelle valli dei Grigioni e del Ticino, nel Liechtenstein, nel Vorarlberg e nel Tirolo, nell’alta Savoia, fino ai confini della Baviera.

1.3 L’insediamento walser

Fonti: testi [1]–[5] in bibliografia

Così come i montanari extra-europei (Himalayani e Andini), i Walser dovettero affrontare le difficoltà di adattamento e sopravvivenza in alta quota. L’intera opera di colonizzazione della montagna era un’impresa difficile che richiedeva anni di lavoro, per abbattere il bosco, dissodare la terra, regolare il

1. Walsenfrage

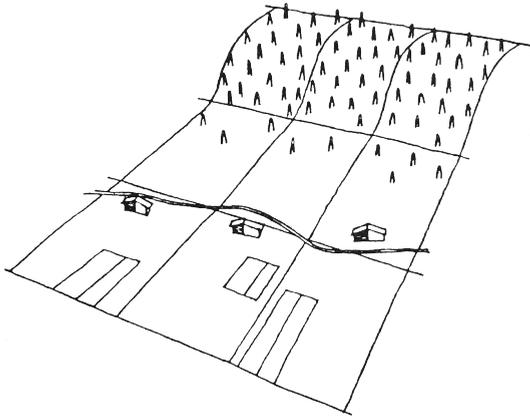
corso delle acque, adattare all'ambiente attrezzi, sementi e animali, aprire nuove strade, costruire ponti e collegamenti con mercati, pascoli, monasteri. Tutto questo era possibile soltanto con una conoscenza e un rispetto della montagna consolidati nel tempo, insieme all'ideazione di nuove tecniche.



Inverno ad Andermatt, 1908 [1]

I Walser, durante le loro migrazioni, portarono con sé un modello di insediamento sparso fondato sulla fattoria isolata e autosufficiente (*hof*). Uno dei motivi più forti che giustificano questa scelta è da ritrovare nell'organizzazione sociale della colonia, fondamentalmente di tipo chiuso, attenta all'autonomia delle singole case, soprattutto nei lunghi mesi invernali di quasi totale isolamento. Tuttavia con la piccola età glaciale, dal XVI al XIX secolo, la minaccia delle valanghe si fece più grave, costringendo i walser ad abbandonare il modello dell'abitato sparso per accentrare le nuove costruzioni in agglomerati più compatti (*dorf*). Queste piccole frazioni si sviluppavano spesso attorno a edifici comunitari, come il forno, il mulino, la fontana, la cappella.

Quando la conformazione del sito lo permetteva, il modello preferito di assegnazione delle particelle ai coloni era quello di tipo "verticale". Seguendo una sorta di scala altimetrica nell'utilizzo del suolo, la casa e gli altri edifici rurali (la stalla, il fienile e il granaio) erano posti al centro del podere, mentre le colture venivano distribuite a diverse altitudini ma sempre nelle zone maggiormente soleggiate; la fascia superiore del podere era utilizzata come pascolo primaverile o autunnale; al di sopra si trovava il bosco per la riserva del legname, e ancora più su i pascoli estivi. L'equilibrio economico della singola famiglia si basava soprattutto sulla produttività della breve buona stagione, i cui frutti dovevano essere accumulati per far fronte ai rigidi inverni. L'economia dei Walser era di



Modello di distribuzione dei Walserhöfe sulle pendici della montagna [1]

tipo misto, fondata sull'allevamento del bestiame e la lavorazione del latte e integrata, dove possibile, da una tenace agricoltura d'alta montagna (frumento, segale, orzo, ortaggi, patate dalla fine del XVIII secolo).

È doveroso rimarcare la straordinaria capacità dei Walser di identificare i luoghi migliori in cui fondare i nuovi insediamenti, considerando l'esposizione al sole, la piovosità, la disponibilità d'acqua, la caduta delle valanghe, i movimenti dei ghiacciai...

Con il progressivo peggioramento del clima, i Walser furono costretti ad usufruire degli insediamenti più alti soltanto come alpeggi estivi, e la loro economia entrò in crisi. I ghiacciai si spinsero minacciosi verso valle, distruggendo campi e pascoli, oltre a interrompere le vie di comunicazione attraverso i valichi più alti e rendendo più difficile l'attività dei someggiatori. Già durante il secolo precedente la quasi impossibilità di trovare terre ancora incolte aveva ostacolato la capacità di soddisfare i fabbisogni di una popolazione in crescita. Per questo motivo la risposta dell'intraprendenza e capacità di adattarsi tipiche di questo popolo fu il rafforzamento del commercio attraverso i passi, dove possibile, lungo le vie del sale e delle granaglie. Nella valle di Gressoney, questo fenomeno di spostamento verso il nord delle Alpi per praticare il commercio fu particolarmente importante, tanto che la valle fu ribattezzata *Krämertal* (valle dei mercanti) e alcune famiglie decisero di avviare attività commerciali fisse all'estero.

Capitolo 2

I walser nella valle del Lys

2.1 La colonizzazione

Fonti: testi [1]-[4] in bibliografia



Antica rappresentazione dei collegamenti tra le varie valli del Monte Rosa [3]

Alla ricerca di nuove terre da coltivare e luoghi in cui stabilirsi, e attratti dagli incentivi offerti dai proprietari fondiari, nel XII secolo i Walser raggiunsero il versante meridionale delle Alpi. A piccoli gruppi, portando con sé sementi, animali, strumenti e conoscenze, essi fondarono dapprima le colonie di Formazza, Gressoney e Macugnaga, le più antiche a sud delle Alpi. Attraversando il Colle del Teodulo, di Cime Bianche e il Passo del Monte Moro, i Walser costruirono insediamenti sparsi a semicerchio attorno al massiccio del Monte Rosa: in Valle d'Aosta, si trovano Ayax Aleman o Canton des Allemands (oggi Saint Jacques) in Val d'Ayas; Gressoney, Niel e Issime nella valle del Lys; Getta des Allemands sui monti sovrastanti Champdepraz. Non è dato sapere con esattezza da dove

2. I walser nella valle del Lys

provenissero questi coloni, ma è plausibile ipotizzare dagli insediamenti sul versante settentrionale del Monte Rosa, come ad esempio Zermatt.

Nell'alta valle del Lys, prima dell'arrivo dei Walser, Issime risultava già come luogo abitato da un nucleo di popolazione franco-provenzale. A partire dal XII-XIII secolo si hanno testimonianze di quattro grandi alpi estivi: Gressoney, Verdoby (Verdebiò), Betta (Bätt) e Alpenzu (Albezò). I primi due, situati sulla sponda sinistra del Lys, appartenevano al vescovo di Sion; gli altri invece, sulla sponda destra, erano di proprietà dei signori di Challant.

Gli alpi di Gressoney e Verdoby sono nominati per la prima volta nel 1219, in una "memoria" dei possedimenti regionali del vescovo di Sion. La volontà e l'impegno dei nuovi abitanti fecero sì che, già nel 1242, Gressoney venisse menzionato nei documenti come luogo abitato e non più come alpeggio. Questo antico alpe, collocato a nord di Verdoby, venne inoltre scelto per la costruzione della chiesa parrocchiale dedicata a San Giovanni Battista e del cimitero, ai quali conveniva il resto della popolazione walser sparsa nell'intera valle. Per questo motivo, la valle prese il nome dell'alpe di Gressoney.

Le opere di dissodamento e disboscamento permisero ai Walser di creare aree di pascolo e terreni da coltivare, ricavando contemporaneamente i materiali necessari per la costruzione degli edifici (pietra e legno). I primi insediamenti, nati dalla trasformazione degli alpeggi in abitati permanenti, furono Tschaval (Staffal), Biel, Selbsteg, Bätt (Betta), Orsiò (Orsia), Noversch e Albezò (Alpenzu).



Raccolta delle patate nel Goms [1]

Tschaval, situato a 1850 metri, è uno degli insediamenti più elevati nelle Alpi del Monte Rosa. Nel XV secolo tutta l'area dell'Oberteil (letteralmente "parte superiore", ossia il tratto di valle che si identifica oggi con il comune di Gressoney-la-Trinité) vide la costruzione di una fitta rete di canali per l'irrigazione, realizzati con tronchi di legno scavati. Infatti in un periodo particolarmente caldo e secco, in cui l'optimum termico aveva consentito di spingere le coltivazioni (e gli abitati) a quote estreme, l'acqua dei ghiacciai veniva condotta non soltanto nei campi coltivati, ma anche nei prati da fieno e nei pascoli. Con l'arrivo della piccola età glaciale, questo sistema d'irrigazione fu prima abbandonato, data l'inutilità dell'irrigazione in annate sempre più umide e piovose, in seguito distrutto

dall'avanzare dei ghiacciai. Il peggioramento del clima abbassò notevolmente il limite superiore dei boschi e degli abitati permanenti, e alcuni di questi tornarono alla loro originale funzione di alpeggi estivi a causa della difficoltà di trarre prodotti sufficienti dalla terra.

A tal proposito bisogna ricordare che il popolamento dell'alta valle del Lys non superò mai le possibilità offerte dalla terra. Per questo e altri motivi, nei secoli alcuni coloni gressonari emigrarono per dedicarsi al commercio in regioni più ricche o per trovare un luogo in cui fondare la propria casa.

2.2 Il territorio

Fonti: testi [1]–[5] in bibliografia

Quella di Gressoney è la valle più orientale della Valle d'Aosta. Si sviluppa in direzione nord-sud per una lunghezza di circa 37 km, con un andamento abbastanza regolare, e si congiunge alla valle centrale nel comune di Pont-Saint-Martin, a circa 350 metri sul livello del mare. Essa comprende, partendo da fondo valle, i comuni di Perloz, Lillianes, Fontainemore, Issime, Gaby, Gressoney-Saint-Jean e Gressoney-la-Trinité.

La valle comunica, tramite numerosi valichi in passato utilizzati per il commercio, con la valle d'Ayas ad Ovest e con il Piemonte ad Est. È separata dalla Svizzera dal massiccio del Monte Rosa, il secondo più alto d'Europa (altezza massima 4634 m). Questo massiccio non fu mai visto come una barriera, bensì come una via di comunicazione con i luoghi da cui i coloni walser provenivano e, ancora oggi, è visto come una presenza “confortante” per buona parte degli abitanti dell'alta valle di Gressoney.

Dalle sorgenti del Monte Rosa nasce il torrente Lys, che percorre la valle per tutta la sua lunghezza e confluisce nella Dora Baltea a Pont-Saint-Martin. I numerosi torrenti che percorrono canali laterali e alimentano il Lys hanno rappresentato un'importante risorsa per l'agricoltura e il pascolo negli alpeggi.



Vista del Monte Rosa da Gressoney-Saint-Jean

2. I walser nella valle del Lys

L'orientamento nord-sud della valle ha favorito un'erosione glaciale dei due versanti pressoché simmetrica. Anche a causa dell'azione erosiva del Lys, la conformazione è prevalentemente a V, con pendii scoscesi e una sezione ridotta, ma si ritrovano aree in cui il fondovalle è più aperto, soprattutto a nord dell'orrido di Guillemore: qui si trovano i luoghi che furono scelti per la fondazione dei capoluoghi di Gressoney-la-Trinité, Gressoney-Saint-Jean e Issime. Nella parte alta della valle si trovano alcuni dossi e terrazzamenti laterali, formati dall'azione del ghiacciaio e dalle sedimentazioni moreniche e alluvionali. Lo sviluppo della valle in direzione nord-sud permette in pressoché ugual misura un soleggiamento dei due versanti, ricoperti da boschi di conifere e talvolta latifoglie.

2.3 Gli insediamenti a Gressoney

Fonti: testi [3]–[7] in bibliografia



Campi a monte di Verdebìò (Gressoney-Saint-Jean), inizio XX secolo [5]

A causa della scarsa produttività del terreno a queste altitudini, gli antichi nuclei abitati di Gressoney erano caratterizzati da un tessuto rado, formati da edifici sparsi costruiti in posizioni accuratamente individuate in funzione dell'orientamento, del rilievo (per sfruttare i diversi tipi di terreno in momenti diversi dell'anno), del soleggiamento e del pericolo rappresentato dalle valanghe. I Walser non erano soliti costruire grandi agglomerati, come accadeva invece nella valle centrale; anche a Gressoney, l'unità fondamentale dell'insediamento e dell'economia era la singola casa autonoma; qui la proprietà a livello familiare dei piccoli *dorf* era ancora marcata alla fine del XIX secolo, ad eccezione di pochi edifici collettivi (la cappella, il forno, il mulino, la segheria...). Un altro motivo per cui gli abitati erano formati da corpi ben separati è da ricercarsi nell'architettura stessa degli edifici: fabbricati utilizzando la tecnica dei tronchi incastrati alle estremità (*blockbau*), la costruzione in aderenza avrebbe richiesto

tecniche e metodi assai complessi. Inoltre, l'interposizione di pilastri tra i piani aveva lo scopo di impedire l'accesso dei roditori ai depositi di cibo, funzione che sarebbe venuta meno in caso di contatto con altri edifici; infine il rischio di incendi obbligava a mantenere un'adequata distanza tra le case. Questa "catena" di insediamenti sparsi ha creato una vasta rete di sentieri di collegamento, alcuni dei quali percorribili ancora oggi.

Le particelle in cui era suddiviso il territorio si estendevano dal torrente fino alle pendici boschive, in modo da garantire a ogni famiglia una parte di terreno pianeggiante da utilizzare come campo e pascolo, una fascia boschiva lunga e stretta e una radura libera da alberi.

Al piede dei versanti, le costruzioni si appoggiavano al pendio e la maggior parte delle coperture era orientata lungo la direzione del pendio, per evitare che le due falde scaricassero la neve davanti alle porte d'ingresso, poste sui lati a monte e a valle. Nel fondovalle invece la facciata principale, con molte aperture, era rivolta verso Sud, per usufruire del soleggiamento diretto. Tra gli edifici posti su dossi e terrazzi alluvionali non prevale un orientamento specifico delle coperture.

2.4 La casa rurale walser

Fonti: testi [4]-[7] in bibliografia.

Le tipologie costruttive create dai Walser nelle varie colonie fondate al di qua e al di là delle Alpi sono la risposta alle esigenze stabilite da un'economia rurale e soddisfatte attraverso l'uso di materiali disponibili localmente e tecniche provenienti da una cultura in origine comune. Gli edifici rurali esprimono il modo in cui un determinato popolo si è adattato a condizioni naturali, sociali, economiche e ambientali in uno specifico territorio, a favore della propria sopravvivenza.

I Walser svilupparono edifici simili in risposta a sollecitazioni provenienti da ambienti via via più differenti dal punto di vista ecologico-fisico, ma anche da rapporti sociali ed economici con le comunità limitrofe.

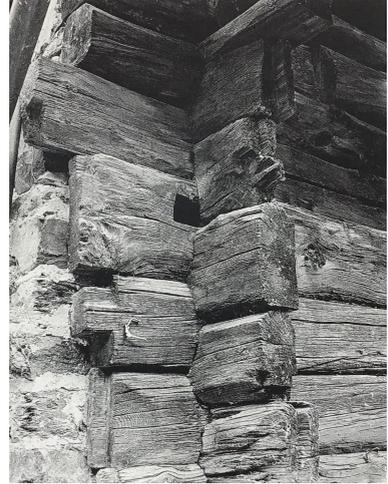
Le case costruite dai Walser sono una delle testimonianze più importanti del loro modo di vivere la montagna. Come ogni altra casa contadina, esse sono molto più complesse delle abitazioni di città; basti ricordare il fatto che le grandi nevicate e le temperature rigide costringevano le famiglie ad un quasi totale isolamento nel periodo invernale, trasformando l'edificio in un "laboratorio rurale". Infatti esso veniva utilizzato non soltanto come abitazione, ma anche come struttura al servizio dell'attività agricola e dell'allevamento, come sistema di magazzinaggio per alimenti e altro, come laboratorio per varie attività artigianali (la tessitura, la lavorazione del latte, l'artigianato del legno, la fabbricazione di utensili...).

In montagna la progettazione e la costruzione, che non erano affidate ad un singolo ma svolte in collaborazione con la comunità, dovevano rispondere ad importanti sfide ambientali: la cattura del sole nei locali d'abitazione, la difesa dall'umidità e l'aerazione erano elementi fondamentali per la

2. I walser nella valle del Lys

sopravvivenza. Inoltre, con il tempo, vennero affinate conoscenze come l'andamento delle valanghe e delle inondazioni; la periodicità, la direzione e la potenza dei venti a seconda del luogo; la ricerca e conduzione delle acque.

L'abbondanza di foreste di conifere e la difficoltà di approvvigionamento di altri materiali come il metallo, vincolarono la costruzione degli edifici utilizzando le risorse reperibili in loco, ossia legno e pietra. Il sistema costruttivo impiegato, il *blockbau*, risponde allo stesso tempo alla funzione portante e a quella di tamponamento. Esso impiega tronchi disposti orizzontalmente gli uni sugli altri e incastrati alle estremità. Questa tecnica risale al Neolitico e si estese nelle zone di foreste ad alto fusto (pini, abeti, larici, faggi) nell'emisfero settentrionale; esempi si ritrovano in Scandinavia, Cecoslovacchia, Ucraina, Russia... Questo tipo di costruzione veniva generalmente riservata ai fienili, dal momento che la presenza di fessure tra i tronchi non squadriati permetteva l'aerazione dei locali.



Incastro angolare del sistema *blockbau* [7]

I legni più utilizzati sono il larice, molto resistente all'umidità e ai parassiti e caratterizzato da un colore rossastro, e l'abete rosso, più lavorabile e stabile del larice ma meno performante contro l'umidità e meno durevole. Si trovano anche parti in abete bianco e pino cembro, apprezzati per l'alta lavorabilità e impiegati soprattutto nei mobili e nei serramenti. Il colore scuro di oggi, tendente al nero, è conseguenza della resina che ha formato uno strato di protezione contro l'umidità.

I tronchi venivano posti in opera poco dopo l'abbattimento, che veniva effettuato nel periodo invernale per approfittare sia della pausa del ciclo vegetativo sia della presenza della neve per il trasporto su slitte. Con il passare del tempo, a seguito della perdita di umidità, gli elementi subivano un ritiro nel senso trasversale alle fibre; perciò le costruzioni erano soggette ad un sensibile calo in altezza. I tronchi venivano lavorati a mano, conservandone la naturale forma affusolata. Di conseguenza, in fase di assemblaggio, era necessario alternare la posizione delle teste degli elementi per compensare le differenze di sezione. Come protezione contro le infiltrazioni d'aria nelle abitazioni, era diffusa la pratica di interporre tra i tronchi muschi e felci al fine di sigillare i giunti.

Come detto in precedenza, la destinazione d'uso di un locale determinava la scelta del legname e la sua lavorazione: i tronchi del fienile venivano quasi esclusivamente scortecciati, per fare in modo che le fessure tra gli elementi permettessero l'aerazione del locale, mentre quelli in corrispondenza delle stanze abitate e del granaio erano ottenuti dividendo a metà il tronco; questi erano posti in opera con la faccia piana verso l'interno e quella lavorata ad ascia verso l'esterno.



Discesa della legna in inverno nella valle di Gressoney, 1890 [1]

Costruire in *blockbau* permetteva non solo una buona aerazione dei locali adibiti a riserve, ma anche di recuperare facilmente gli elementi lignei qualora la struttura dovesse essere smantellata e riassembleata altrove o ad integrazione di nuovi fabbricati. È tutt'altro che raro trovare scanalature o altri tipi di lavorazione non coerenti con l'impiego attuale degli elementi. Questi si concentrano soprattutto nella zona del timpano, dove gli elementi hanno lunghezze minori e risulta quindi più semplice il loro reimpiego.

Oltre al legno, il materiale fondamentale utilizzato nell'edilizia walser è la pietra. Veniva reperita nelle vicinanze del cantiere per la costruzione del basamento dell'edificio, che costituisce un supporto solido di separazione tra la scatola lignea e il terreno. La tecnica costruttiva delle murature e la qualità della finitura dipendono dall'epoca della costruzione, mentre la scelta del materiale (graniti, scisti, gneiss ecc.) è legata alla disponibilità locale. Pietre di natura scistosa (*lose* o *piode*), ossia facilmente divisibile in lastre, venivano impiegate come manto di copertura dei tetti e come pavimentazione. Grazie al peso considerevole, esse offrono una buona resistenza al carico della neve e sono in grado di sopportare gli sbalzi termici tra giorno e notte. Inoltre, la pietra ollare, refrattaria e di facile lavorazione, era utilizzata per la fabbricazione di stufe e utensili da cucina, come piastre e pentole. Nelle case dei popoli walser, la stufa si trova nel locale soggiorno (*d'stòbbò*) e comunica con la cucina per mezzo di uno sportello in lamiera. Nella cucina, in corrispondenza di questo, si trova il camino. Da qui le braci venivano caricate all'interno della stufa, che trasmette il calore per irraggiamento alla stanza abitata.

Le pietre utilizzate nelle costruzioni venivano unite attraverso malte di calce e di argilla. Il processo di produzione della calce iniziava con la raccolta e cottura ad alta temperatura (900-1100°C) di rocce calcaree. Le zolle ottenute erano quindi immerse in acqua (spegnimento della calce) e si trasformavano in grassello, una pasta bianca e finissima. La malta era ottenuta da un impasto di grassello e sabbia, raccolta dal letto dei torrenti. La calce inizia a indurirsi a contatto con l'aria e la malta torna così allo stato di calcare, formando un legame solido tra le pietre. Il maggiore o minore utilizzo di calce è determinato da diversi fattori, tra

cui la complessità di produzione e le possibilità economiche della committenza.

Talvolta il piano in *blockbau* è separato dal basamento tramite pilastri in pietra o legno (detti “funghi” per la forma caratteristica), sormontati da lastre di pietra chiamate *musblatte* in *titsch*, con il duplice scopo di garantire una buona aerazione del locale dedicato alle riserve e di evitare che i roditori potessero accedervi. Questi elementi furono descritti già da Plinio il Vecchio (*Naturalis Historia*, 10, 75) e si ritrovano, per esempio, anche negli *hórreos* della Galizia.

2.5 Evoluzione dell'architettura

Fonti: testi [5] e [7] in bibliografia.

Il paesaggio delle Alpi occidentali è caratterizzato da un tipo di edificio che si è sviluppato di pari passo con la cerealicoltura in montagna, durante il XVI secolo.

Chiamato *stadel* in *titsch* e *rac-card* nelle comunità francoprovenzali, è formato da due livelli, diversi nella destinazione d'uso e nella tecnica costruttiva: un basamento in pietra aveva la funzione di accogliere gli animali, su cui poggia una “scatola” di legno che veniva utilizzata come deposito per covoni (e altre riserve alimentari) e come fienile, assemblata secondo il sistema *blockbau*.

Anche un occhio poco attento potrebbe comprendere la differenza d'uso dei locali della scatola lignea soltanto osservando la differenza delle aperture: grandi porte a doppio battente permettono l'accesso al fienile, mentre le porte del granaio (*de spicher*) sono di dimensioni ridotte e decorate con un architrave ad arco ribassato. Gran parte degli edifici più antichi presentano i classici pilastri di separazione tra basamento e scatola lignea.

In seguito all'inasprimento del clima, spesso la famiglia proprietaria alloggiava nella stalla durante il periodo invernale, per usufruire del calore prodotto dagli animali; oltre che nelle Alpi occidentali, quest'usanza si ritrova soltanto in regioni fredde come le coste del Mare del Nord e i Paesi Scandinavi.

Le dimensioni di questo tipo di *stadel* sono piuttosto variabili, con lati che vanno da 5,5 a 10 metri. I lenti e limitati cambiamenti nel sistema economico della valle hanno determinato un utilizzo continuo di queste strutture arcaiche, con limitate modifiche, facendo sì che ancora oggi ne rimangano 9 a Gressoney-la-Trinité e 34 a Gressoney-Saint-Jean.

Come conseguenza dei rapporti sociali ed economici con altre comunità, più o meno lontane, l'evoluzione dell'architettura rurale walser seguì percorsi differenti



Stadel di tipo antico a Tschössil, Gressoney-Saint-Jean [5]

in ogni luogo, pur conservando alcune affinità. Con il passare del tempo vennero introdotte nuove tecniche costruttive, ma spesso l'organizzazione funzionale dell'edificio e il modo di costruire impiegato non si svilupparono di pari passo. Il risultato è l'esistenza di fabbricati con un'organizzazione molto simile, ma costruiti con tecniche o materiali diversi.

Tra il XVI e il XVII secolo i Walser costruirono degli edifici simili nelle dimensioni agli *stadel* di tipo antico ma dotati di due piani in legno, sempre poggianti su un basamento in pietra adibito a stalla. Il primo piano è caratterizzato dalla presenza, in facciata, di due porte gemelle; ciò suggerisce la divisione del piano in due parti uguali. Non è chiara la funzione di questi due locali, ma il disegno curvilineo dell'architrave delle porte può suggerire l'utilizzo come granaio. Tuttavia, edifici



Porte gemelle di uno stadel a Òbrò Dejèlò, Gressoney-la-Trinité [5]

simili si possono trovare nel vicino comune di Alagna, dove le porte gemelle distinguevano le camere di abitazione del primo piano; inoltre la presenza di piccole finestre di forma quadrata e una lavorazione più rifinita delle pareti in legno (che nell'ambito dell'architettura alpina è simbolo di decoro) supportano l'ipotesi di un utilizzo abitativo del primo piano.

Il secondo piano, circondato dal balcone e caratterizzato da grandi porte a doppio battente, ospitava il fienile. Oggi è possibile osservare una decina di edifici di questo tipo.

L'esiguo numero di date incise sulle travi di colmo durante la prima metà del Seicento testimonia l'impatto che la peste del 1630 ebbe sulla demografia e sull'economia della zona. L'attività edilizia riprese a partire dagli anni cinquanta, segnata da una marcata rottura con le tecniche costruttive e i modi di abitare precedenti.

Si diffusero costruzioni di dimensioni maggiori, che ospitavano sotto lo stesso tetto sia i locali destinati alle attività rurali sia quelli dedicati alla famiglia: la cucina (*z'firhus*) e la camera di soggiorno (*d'wohnstòbò*), riscaldata da una stufa in pietra ollare che veniva caricata dall'adiacente cucina. I lati variano da 6,5-10 a 8-12 metri, con la facciata principale posta sul lato maggiore, e sono da rapportare non tanto all'epoca di costruzione ma alle possibilità economiche della famiglia proprietaria.

Questi edifici si sviluppano solitamente su tre livelli e in due terzi dei casi sono costituiti da due piani in pietra e uno in legno. Il piano terra, al solito, fungeva da stalla; la porzione che d'inverno ospitava la famiglia (chiamata *de wohngade*) era delimitata da una ringhiera in legno e arredata con tavolo, panche e letti. Le pareti di questa zona erano rivestite in legno, per sfruttarne la proprietà isolante termica.

2. I walser nella valle del Lys

Una delle novità più chiare di questi edifici a funzioni concentrate è la presenza di una scala interna che collega i piani, a cui si accede attraverso un corridoio (*de gang*) che separa la stalla dalla cantina (*de chär*). Il corpo scala è individuabile dall'esterno dalla presenza di una serie di porte incolonnate, spesso poste al centro della facciata. Ai lati, le finestre sono disposte in modo simmetrico e regolare. Nel caso in cui si trovi soltanto un piano in pietra, la cucina era situata al piano terra, altrimenti la posizione al piano superiore permetteva il riscaldamento delle adiacentistanze abitate, per il riposo e il lavoro. Il piano dedicato alla vita della famiglia è circondato da un balcone con aspetto civile, le cui aste verticali sono spesso lavorate e decorate.

L'ultimo piano era adibito a fienile, ma spesso si trovano una o due stanze più piccole, utilizzate come deposito per covoni e per la conservazione delle riserve. Qui le ringhiere a grigliato del balcone, per l'essiccazione dei cereali, arrivano fino al tetto.

Un'altra novità di questo tipo di fabbricati, costruiti fino ai primi decenni dell'Ottocento e di cui rimangono circa 90 esemplari, è l'intonacatura a calce delle parti in muratura.

Nonostante la grande diffusione del tipo di casa a funzioni concentrate, nei secoli successivi si continuò a costruire edifici rurali, anche se in numero ridotto. L'impostazione generale è la stessa degli *stadel* cinquecenteschi, che rimasero in uso e vennero tramandati di generazione in generazione, ma è possibile osservare alcune variazioni.



Stadel settecentesco a Rong, Gressoney-Saint-Jean [5]



Casa a funzioni concentrate del 1690 a Òbrò Eckò, Gressoney-Saint-Jean [5]

I frontoni sporgenti rispetto al filo della facciata e l'utilizzo di pilastri per creare un'intercapedine tra i piani, caratteristiche proprie e uniche degli *stadel* di tipo arcaico, scomparvero. Le dimensioni dei fabbricati sono in linea con quelle degli edifici rurali antecedenti, con lati che variano da 5 a 7 metri. Anche qui, il piano terra era utilizzato come ricovero per gli animali e il piano superiore in legno era adibito a fienile, in cui raramente è possibile trovare un locale per la conservazione delle riserve alimentari. Le porte d'accesso sono

situate al centro della facciata e, nel caso in cui le dimensioni dell'edificio siano maggiori, è presente una seconda porta sul lato opposto per favorire l'aerazione dell'aia interna di trebbiatura. In pochi casi il balcone circonda l'edificio; nella maggioranza dei casi, esso si trova soltanto sul fronte principale.

Questo nuovo tipo di *stadel* veniva costruito soprattutto a quote elevate o in zone al limite dell'insediamento, e veniva utilizzato soltanto in alcuni periodi dell'anno, come stazione intermedia del pascolo in alpeggio.

Tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo si assistette, in tutta la Valle d'Aosta, a un mutamento nel modo di costruire. I motivi principali che portarono a preferire l'utilizzo della pietra rispetto al legno sono due. In primo luogo, lo sviluppo dell'industria metallurgica, alimentata principalmente a carbone, nella prima parte del Settecento provocò un drammatico impoverimento delle foreste, con conseguente scarsità di legname da costruzione. Per cercare di frenare il disboscamento selvaggio, il governo dei Savoia decise di emanare una serie di divieti, in particolare l'*Édit du Roi, contenant règlement pour la conservation des bois et forêts dans le Duché d'Aoste* del 1757. Inoltre, il legno iniziò a connotare la tradizione e il mondo rurale, lontano dal rappresentare prestigio e ricchezza.

Perciò si fece strada, anche nelle comunità alpine, l'utilizzo della pietra come materiale principale nelle costruzioni. Si trattò naturalmente di un passaggio graduale e proporzionato alle possibilità economiche dei committenti. Tuttavia il legno rimase largamente utilizzato in edilizia, per l'orditura delle coperture, i solai e i balconi, le pareti di tamponamento, i serramenti e i mobili. Talvolta la struttura in tronchi della facciata principale veniva rivestita esternamente con una parete in muratura.



Casa a funzioni concentrate con muri esterni interamente in pietra a Òndre Eselbode, Gressoney-la-Trinité [5]

In questi nuovi edifici di grandi dimensioni, la cucina era quasi sempre situata al piano terra, a fianco della cantina e separata dalla stalla per mezzo di un corridoio. L'usanza della coabitazione tra la famiglia e gli animali rimase comunque alquanto diffusa. Al primo piano si trovavano le camere da letto,

2. I walser nella valle del Lys

rivestite in legno. I balconi si trovano soprattutto sulla facciata principale, con ringhiere a liste verticali nei piani di abitazione e a grigliato all'ultimo piano, adibito a fienile.

Un'ulteriore separazione dall'architettura originaria avviene verso la fine dell'Ottocento, insieme all'investimento in terreni ed edifici da parte delle famiglie di commercianti gressonari che avevano fatto fortuna in Svizzera e in Germania. Ciò produsse la costruzione di vere e proprie ville, ben lontane dalle vicine dipendenze rurali che venivano concesse in affitto, segnando una netta separazione tra mondo borghese e mondo contadino.

Anche qui il materiale preferito fu la pietra, ricoperta da uno strato di intonaco, spesso dotato di decorazioni. Gli edifici, di dimensioni importanti, si sviluppano su tre o quattro piani. Un altro distacco dalla tradizione è rappresentato dal piano terra, spesso dedicato interamente alle cantine, coperto da volte a botte in pietra; in tutti i tipi di edifici precedenti, i solai erano costituiti da travi e tavolati in legno. Le grandi porte d'accesso al fienile scomparvero, insieme ai caratteristici balconi a grigliato. Le finestre diventarono grandi e numerose, poste in modo regolare e spesso decorate con cornici.



Foto di Villa Margherita

Uno degli esempi più iconici di questo periodo è Villa Margherita, ora sede del municipio di Gressoney-Saint-Jean. Commissionata dalla famiglia Beck Peccoz e completata nel 1888, essa fu progettata da ingegneri tedeschi e arredata in stile bavarese, per evidenziare il legame della famiglia con la regione che ne aveva sancito la fortuna economica.

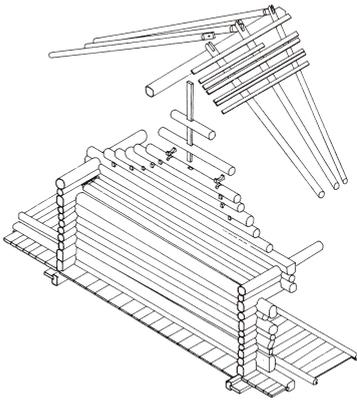
2.6 Il timpano come indicatore cronologico

Fonti: testi [5] e [7] in bibliografia.

Per tradizione, la data di costruzione di un edificio walser veniva incisa su un elemento ligneo dello stesso, solitamente sul lato inferiore della trave di colmo.

Tuttavia vi sono casi in cui questa usanza non veniva adottata, lasciando gli studiosi nell'incertezza riguardo il periodo di costruzione di alcuni edifici.

Così come in molti altri comuni di alta montagna, anche a Gressoney il metodo di assemblaggio del frontone è un fattore importante nella datazione di un fabbricato. Nella tecnica costruttiva *blockbau*, gli elementi sovrapposti sono uniti attraverso incastri alle estremità, ma nel timpano questo collegamento viene meno. A Gressoney si possono identificare tre metodi di assemblaggio che si sono sviluppati in momenti diversi.



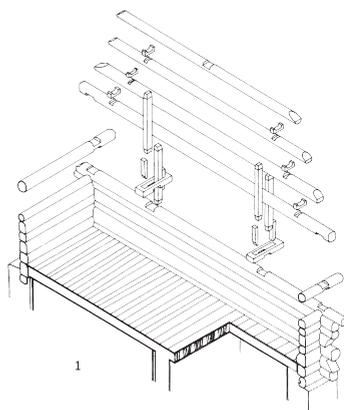
Sistema costruttivo del timpano "a spina" [7]



Il primo viene chiamato "a spina" e caratterizza gli edifici più antichi, costruiti tra il Cinquecento e il Seicento. La verticalità del frontone è assicurata da una tavola verticale inserita in una cavità praticata al centro dei tronchi. Molte volte il frontone si trova in aggetto rispetto al resto della facciata, da poche decine di centimetri fino a oltre un metro e mezzo, e forma all'interno una specie di soppalco. È possibile trovare questa particolarità in altre zone alpine, tra cui la Valsesia e Macugnaga in Italia, la Valmaggia (Ticino) e il Löschentel (Vallese) in Svizzera. Si trovano elementi di rinforzo in legno, come biette a sezione a coda di rondine e cavicchi inseriti tra un tronco e l'altro; questi ultimi venivano utilizzati per svariati tipi di giunzione, come per il fissaggio dei listelli della copertura e per l'unione dei puntoni sulla trave di colmo.

L'evoluzione di questa tecnica arcaica di assemblaggio è l'impiego di chiavi di rinforzo in legno. Questo sistema prevede due pertiche, poste all'interno e all'esterno della parete, infilate in cavità praticate in elementi lignei orizzontali passanti la parete. Solitamente, considerate le dimensioni importanti della maggioranza degli edifici, altre due chiavi fiancheggiavano quella centrale, sempre poste in corrispondenza delle travi portanti della copertura. Questo sistema è in grado di mantenere i tronchi impilati e permette un certo movimento in senso verticale, per compensare il ritiro del legno nel tempo.

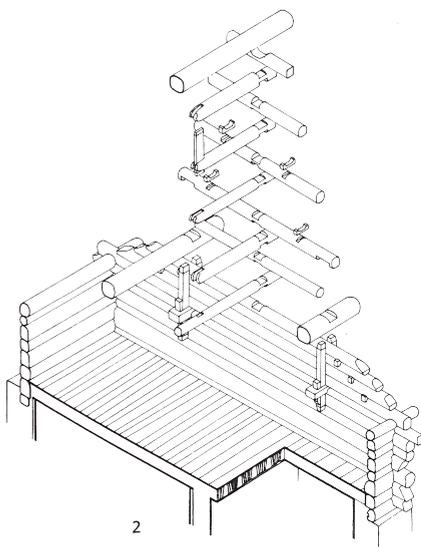
2. I walser nella valle del Lys



Sistema costruttivo del timpano "a chiavi" [7]



Verso la fine del Seicento, il sistema di assemblaggio "a chiavi" viene arricchito dall'introduzione di un setto di tronchi perpendicolare al timpano, collegati a mezzo legno con gli elementi della facciata. Questa tecnica, chiamata "*croisée*" nei contratti di costruzione dell'epoca, conferisce maggiore rigidità alla struttura, grazie all'unione dei fronti opposti attraverso la trave di colmo e quella inferiore della *croisée*. In alcuni casi il setto è formato da sei o sette elementi, ma solitamente questi attraversano il timpano per tutta la sua altezza. Questo sistema restò in uso fino agli inizi del XIX secolo.



Sistema costruttivo del timpano "a *croisée*" [7]

Capitolo 3

Il recupero dell'architettura tradizionale

Fonti: testo [8] e nn. [10], [11] in bibliografia

L'architettura rurale viene spesso definita "spontanea", ossia come risultato naturale di vincoli dettati dallo sviluppo sociale, economico, tecnico e culturale dei popoli che abitarono e plasmarono nel tempo un determinato territorio.

L'architettura tradizionale alpina nasce da un profondo legame con l'ambiente montano. La forma degli edifici e i materiali utilizzati sono strettamente vincolati alla morfologia del territorio. La nascita e l'evoluzione delle tipologie edilizie, così come la forma degli insediamenti, sono determinate dall'economia agropastorale delle comunità. Tuttavia non si può dimenticare il valore della cultura propria di ogni realtà locale, che presenta tecniche costruttive tradizionali tramandate e perfezionate nel tempo. Questa profonda comprensione dell'ambiente, dei suoi doni e dei suoi pericoli, ha plasmato le scelte del modo di costruire del passato, facendo sì che gli edifici diventassero parte integrante del paesaggio alpino. Questo tipo di architettura è concepito con grande attenzione per gli aspetti bioclimatici e, nonostante si tratti di un rapporto primitivo tra uomo e ambiente, semplice e povero di mezzi ma ricco di principi, è espressione di equilibrio tra ambiente naturale e ambiente costruito.

A partire dalla seconda metà del Novecento, a causa del declino dell'agricoltura in montagna, gli edifici tradizionali alpini sono stati considerati obsoleti e, per la maggior parte, lasciati in disuso. La mancanza di manutenzione e l'abbandono sono causa di una perdita di natura economica, dato l'inutilizzo di un volume edilizio, e culturale, con la perdita di una testimonianza delle tecniche costruttive e dei modi di vivere del passato. Gli edifici tradizionali sono considerati, e spesso classificati nelle normative locali, documenti di uno stile di vita antico, dell'adattamento dell'architettura alle condizioni ambientali con un uso sostenibile delle risorse disponibili localmente.

Negli ultimi anni si è assistito ad una domanda di riuso degli edifici rustici, soprattutto a fini abitativi, sia stabili sia temporanei. Ciò mette in evidenza il valore economico del patrimonio edilizio tradizionale, tralasciando l'aspetto della conservazione del valore culturale qualora gli interventi di recupero vengano svolti senza una conoscenza profonda della storia, delle regole costruttive e dei materiali del singolo edificio. Per preservare e continuare ad utilizzare questo patrimonio, è necessario adattarlo alle esigenze del vivere odierno, ossia prestare particolare attenzione al comfort degli utenti e alla qualità dell'abitare, oltre a migliorare l'efficienza energetica e le prestazioni ecologiche. La sfida principale è saper coniugare la valorizzazione del patrimonio con l'innovazione tecnologica in grado di diminuire l'impatto del costruito sull'ambiente. Per fare ciò, i concetti

3. Il recupero dell'architettura tradizionale

fondamentali da seguire sono la conservazione e il consolidamento del fabbricato, la scelta di materiali compatibili con la preesistenza, l'ottimizzazione energetica attraverso l'utilizzo di una tecnologia che valorizzi l'edificio anziché snaturarlo, infine intervenire in modo riconoscibile e reversibile al fine di ridurre al minimo l'impatto sul manufatto.

Parte II

Caso studio

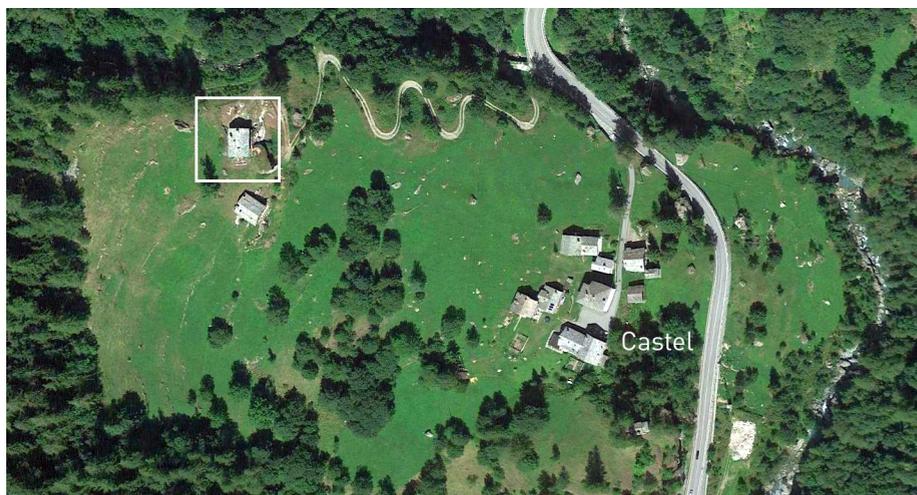
Capitolo 4

Stato di fatto

L'edificio in esame, di proprietà del dott. Alessandro Fochesato, è situato nel villaggio Balmetò di Gressoney-Saint-Jean, all'incirca a metà strada tra il capoluogo del comune e quello di Gressoney-la-Trinité.

Lo *stadel* sorge su un terrazzo alluvionale a mezza costa sulla destra orografica del torrente Lys, a circa 1575 metri di altitudine. A pochi metri di distanza verso Sud sorge uno *stadel* risalente al 1679, già restaurato in passato, mentre a Est verso valle si trova la frazione di Castel, tra i cui edifici è possibile osservare numerosi esempi di architettura tradizionale walser.

Esiste un'unica strada sterrata che raggiunge lo *stadel* oggetto di studio, che si snoda con strette curve lungo il pendio. Questo è circondato a Sud e ad Ovest da boschi, e delimitato a Nord dal torrente Mòntel, il quale alimenta il Lys.



vista aerea della frazione di Castel, del villaggio di Balmetò e dell'edificio oggetto di studio

4. Stato di fatto

La posizione e la presenza delle aree boschive fanno in modo che la zona abitata sia classificata come area non sottoposta a rischio valanghe e a nulla-bassa pericolosità per frane. Entrambi i comuni di Gressoney rientrano nella zona sismica 3.



Foto storica dello *stadel* [9]

Il caso studio è un valido esempio dell'architettura walser di Gressoney del tipo a funzioni concentrate: oltre all'abitazione della famiglia, sono presenti la stalla, il fienile, il granaio e spazi per alcune attività produttive artigianali.

L'incisione sulla trave di colmo riporta, oltre a una dedica di carattere religioso, l'anno di costruzione (1709) e il nome della proprietà, la famiglia di Hans Thedy. Negli ultimi tempi lo *stadel* veniva utilizzato soprattutto nei periodi primaverile e autunnale, come stazione intermedia di pascolo tra il fondovalle e gli alpeggi.



Foto delle incisioni sulla trave di colmo

I materiali utilizzati per la costruzione sono la pietra e il legno, entrambi abbondanti e facilmente reperibili in loco. Il basamento in pietra ha una forma quasi rettangolare e si sviluppa su due piani: al piano terra si trovano, oltre all'ingresso, la stalla e un locale di deposito/cantina,

mentre al piano superiore sono situate due stanze d'abitazione e la cucina. Il secondo piano e il sottotetto sono racchiusi nella "scatola" lignea costruita secondo la tecnica *blockbau* con tronchi di larice, e ospitano un granaio, un locale per riserve/deposito, l'aia di trebbiatura e il fienile. I piani sono collegati internamente da una scala in pietra al piano terra e una in legno al primo piano, mentre l'accesso al sottotetto avviene tramite una scala a pioli. Il tetto a capanna è composto da travi in legno a sostegno del manto di lose. Le falde del tetto sono orientate parallelamente al pendio, con la facciata principale a Sud per sfruttare al meglio il soleggiamento.



Foto da Sud-Ovest



Foto da Nord-Est

4. Stato di fatto

Dato il pendio su cui sorge l'edificio, alcune pareti sono a diretto contatto con il terreno, soffrendo così di fenomeni di degrado dovuti all'umidità: verso monte, questa condizione riguarda tutta l'altezza del piano terra fino a metà del primo piano, mentre sui lati Nord e Sud essa diminuisce gradualmente fino al piano di calpestio sul lato Est, dove si trova l'ingresso principale.

Lo *stadel* non ha mai subito interventi di ammodernamento nel tempo, nonostante sia sempre stato utilizzato per brevi periodi durante l'anno come ricovero per pastori. Sono visibili alcuni tentativi di riempimento delle fessure createsi nell'intonaco e nelle murature.

4.1 Basamento

Le fondazioni dell'edificio sono di tipo continuo e realizzate ad una profondità esigua. Esse proseguono al di fuori del terreno nella muratura del basamento, interamente in pietra, con uno spessore che varia da 60 a 80 cm. Gli elementi impiegati sono di forma e dimensione disomogenee, uniti tramite un impasto di calce in una trama irregolare a formare un doppio paramento, riempito con pietrame e calce/terra. Lo stesso impasto si ritrova come intonaco sia all'interno sia all'esterno; in alcuni punti è visibile il pietrame delle murature a causa del distacco dell'intonaco causato dall'azione degli agenti atmosferici e dell'umidità.

Le stanze abitate del primo piano sono separate da una tramezza in legno e non comunicanti. Quella verso monte, riscaldata in origine con una stufa in pietra ollare e recentemente con una stufa in ghisa, è rivestita con boiserie. A fianco si trova la cucina, dove il camino è sormontato da una cappa in muratura intonacata che si riduce in sezione nel piano superiore, dove costituisce l'unico elemento in pietra.

La stalla al piano terra è rivestita internamente da tavole di larice. Dato il contatto diretto con il terreno, le pareti mostrano danni causati dall'umidità, con il distacco della calce dei giunti e la formazione di funghi sulle parti in legno. Il contatto con i rifiuti organici prodotti dagli animali ha favorito il degrado del materiale.

Inoltre, al primo piano, è visibile un dissesto (spanciatura) dell'angolo Sud-Est con conseguente formazione di fessurazioni nella muratura, riempite in passato con malta idraulica.



Cucina



Stalla



Stanza d'abitazione adiacente alla cucina



Stanza d'abitazione adiacente al vano scala

4.2 Scatola lignea

La porzione più caratteristica dell'edificio è rappresentata dall'ultimo piano soppalcato, racchiuso da pareti costruite con la tecnica *blockbau*. I fusti impiegati sono di larice, con sezioni e profili variabili, lavorati a mezzo legno alle estremità per creare i tipici incastri angolari. Le porzioni sporgenti oltre gli incastri sono regolarizzate in modo approssimativo.

Le pareti del terzo piano sono ottenute dalla sovrapposizione di tronchi tagliati a metà, con il lato piano rivolto verso l'interno e uno spessore di circa 14 cm. Le dimensioni della scatola, determinate dalla lunghezza dei fusti impiegati, rientrano nella media delle abitazioni di quest'epoca. Le pareti dei lati corti, rivolti a Nord e Sud, sono interrotte a metà da un largo montante in legno, per conferire maggiore stabilità. I lati lunghi, invece, sono interrotti simmetricamente da due porte a doppio battente, dimensionate per agevolare il trasporto del fieno e dei covoni tra interno e balcone. Sopra queste aperture, i tronchi si sviluppano per l'intera lunghezza della facciata e sono soltanto scortecciati, con uno spessore di 20-25 cm. Lo stesso tipo di lavorazione si ritrova negli elementi che formano i due frontoni a timpano. Qui, per compensare la mancanza degli incastri angolari, sono presenti due tipi di rinforzo: le biette a coda di rondine sono poste trasversalmente ad alcune travi e tre chiavi con pertiche (in entrambe i timpani) rafforzano il contatto tra gli elementi sovrapposti. Inoltre, al fine di irrigidire l'intera struttura, due travi collegano i lati opposti della scatola lignea. Come è possibile ritrovare in altri *stadel* costruiti in questo periodo, due brevi setti collegati a mezzo legno con i frontoni formano il sistema chiamato *croisée*.

All'interno si trovano due locali utilizzati come granaio e deposito per altre riserve alimentari, divisi da una tramezza in legno e non comunicanti. Sopra questi si trova il soppalco adibito a fienile. Dall'esterno sono visibili alcuni segni che suggeriscono il reimpiego di alcuni fusti provenienti da altre costruzioni.



Timpano "a *croisée*"



Porte d'accesso al granaio e al deposito



Fienile

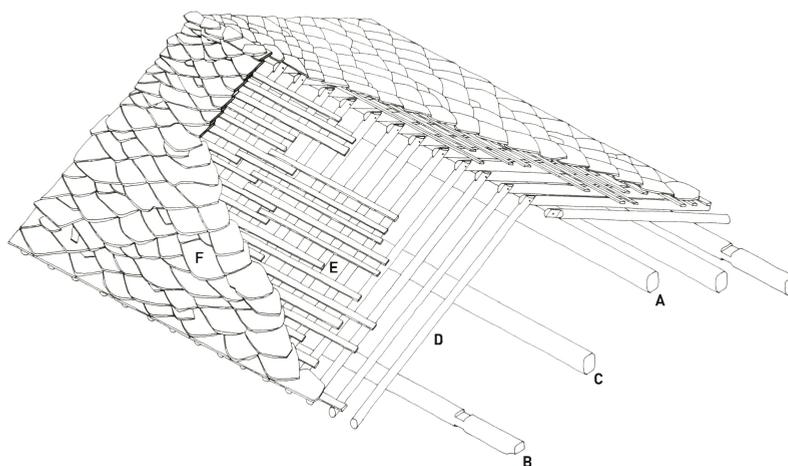
4.3 Copertura

Il tetto a capanna è costituito da una struttura semplice a due falde, con due livelli di orditura. La principale comprende la trave di colmo [A] (con una sezione massima di 30 cm), i dormienti [B] poggianti sulle pareti perimetrali, due terzere [C] per dimezzare la luce dell'orditura secondaria e due grondane, poggianti sui montanti del balcone.

La piccola orditura [D] è composta da puntoni incernierati sul colmo tramite spine in legno, con una sezione di circa 14 cm e posti ad un intervallo di 60 cm, a sostegno dei listelli [E] (chiamati latte) su cui poggia il manto in lose [F]. La posa delle lastre di pietra avveniva dalla linea di gronda verso il colmo, in modo da assicurare una efficace sovrapposizione, proteggere l'ambiente interno dalle infiltrazioni d'acqua.

È possibile notare come la profondità degli sporti del tetto vari sui quattro lati dell'edificio, in funzione della presenza e del modo di utilizzo del balcone. Se la sporgenza a Est e Ovest è di circa 150 cm, essa raggiunge 180 cm sul lato rivolto a Sud, come riparo del balcone che fungeva da essiccatoio per i fasci di

4. Stato di fatto



cereali e fieno. Sul lato opposto, verso Nord, l'assenza del balcone determina una profondità dello sporto di 90 cm.

Tutti gli elementi lignei che compongono la copertura sono in larice, semplicemente decorticati ed eventualmente spianati sulle facce superiore e inferiore per favorire l'appoggio reciproco. Lo stato di conservazione del legno è buono, tuttavia in un limitato numero di punti del manto in lose sono presenti delle lacune, che causano infiltrazioni d'acqua.

Alle estremità della linea di colmo si trovano due pietre bianche, che secondo un'antica credenza sono un messaggio ai viandanti per comunicare un'origine "errante" comune.



Sporto del tetto sul lato Sud



Sporto del tetto sul lato Est



Incastro dei puntoni con spina in legno

4.4 Solai e balconi

Sia la struttura sia la pavimentazione degli orizzontamenti dello *stadel* sono interamente in legno, ad eccezione del piano terra. Qui il pavimento è rivestito con lastre di pietra e poggia direttamente sul terreno. Nella stalla un lastricato centrale in pietra è delimitato da due canali di scolo del liquame, formati da travi in legno su cui poggiano le tavole di larice che costituiscono i giacigli degli animali. Al fine di preservare l'assito in legno dal degrado dovuto al contatto con il terreno, vi è uno strato di separazione in pietrame.



Stalla

4. Stato di fatto

Al primo piano si trovano tre tipi di solaio. Nella cucina il pavimento è costituito da tavole di larice infilte in scanalature praticate sulle travi di supporto, incastrate nella muratura, e coperte da lastre di pietra nella zona più vicina al camino come protezione dal fuoco. Nel vano scala, invece, la funzione portante e di pavimentazione è svolta da tronchi squadrati e accostati spessi 13 cm. Infine nelle stanze abitate il solaio è formato da diversi livelli di orditura: il primo è rappresentato da tre travi poste in direzione Nord-Sud e incastrate nella muratura; sopra queste posano quattro travi perpendicolari, scanalate sui bordi per permettere l'alloggiamento di un tavolato lavorato maschio-femmina a formare il soffitto della stalla. Tuttavia questo non coincide con il pavimento del primo piano, infatti è presente un'altra orditura perpendicolare di travi di dimensione minore, sui cui bordi sono appoggiate e fissate con chiodi di legno le tavole del pavimento in modo da creare una superficie continua nei locali vissuti maggiormente. Nella stanza ad Ovest il pavimento è formato da tre strati di tavole e sono presenti due fori di circa 30x25 cm che permettevano di ricevere il calore prodotto dagli animali al piano inferiore. L'intercapedine tra i due tavolati è riempita con corteccia, pigne secche e scarti della lavorazione del legno al fine di creare uno strato isolante. Una cornice di lose è posata sulla sommità del basamento, all'esterno della scatola lignea, a protezione delle murature dall'infiltrazione di pioggia e per ostacolare la salita dei roditori ai locali delle riserve.



Chiodi in legno nel pavimento delle stanze d'abitazione



Cornice in lose tra basamento e scatola lignea

Al secondo piano si trova un altro tipo di solaio, composto da lunghe travi scanalate (con altezza massima di 22 cm) che poggiano sul basamento in pietra e si estendono oltre l'impronta dell'edificio a sostenere sia il pavimento interno sia quello esterno dei balconi, sempre in tavole di larice spesse 5 cm.



Pavimento della stanza d'abitazione adiacente alla cucina



Pavimento della stanza d'abitazione adiacente al vano scala



Pavimento del secondo piano

4. Stato di fatto

I balconi, riparati dai profondi sporti del tetto, erano usati come espansione verso l'esterno della casa e dei depositi. Essi differiscono nell'aspetto per il differente modo in cui venivano utilizzati. Quello del primo piano, su cui veniva riposta la legna da ardere, è sorretto da corte travi accoppiate incastrate nella muratura e il parapetto ad aste orizzontali raggiunge un'altezza di circa 110 cm. Oggi è presente soltanto una porzione sul lato Est, sebbene in una foto d'epoca sia possibile notare come esso si espandeva anche sul lato Sud.

Al secondo piano il balcone circondava la casa su tre lati e veniva utilizzato come essiccatoio, tuttavia durante il secolo scorso la porzione Ovest e parte di quella Sud furono rimosse. È plausibile pensare che in passato vi fosse una scaletta d'accesso al balcone sul lato Ovest, alta circa 140 cm, per un trasporto più agevole di fieno e cereali al piano di deposito. Le aste orizzontali su cui venivano appesi i fasci di cereali ad essiccare si sviluppano per l'intera altezza dei montanti, che sul lato Est (e in passato anche a Ovest) sono inclinati per sostenere e trasmettere il carico delle travi grondane del tetto. Già nella foto d'epoca è visibile come un gran numero di aste orizzontali sia venute a mancare, situazione che persiste oggi.



Balcone del secondo piano sul lato Est

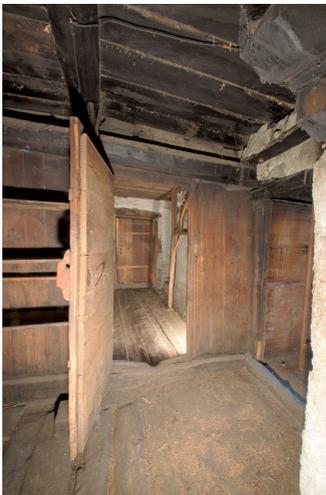
4.5 Strutture e partizioni interne

Le pareti che delimitano i locali dell'edificio sono in pietra o legno. Le prime, con funzione portante, si innestano direttamente sulle fondazioni e hanno spessori che variano da 43 a 60 cm. Esse si trovano principalmente al piano terra e una porzione prosegue al primo piano, dove sono intonacate e modellate per ospitare il camino della cucina e una porzione di parete in legno. Nei locali d'abitazione, con lo scopo di isolare termicamente e conferire un aspetto più accogliente, le pareti sono rivestite con boiserie.

La restante parte è costituita da tramezzi in legno, formati da tavole di larice (spesse 4-5 cm) accoppiati maschio-femmina e inseriti in scanalature effettuate sulle travi di supporto superiore e inferiore. L'unica eccezione è presente al piano in *blockbau*, dove la struttura esterna è irrigidita da una parete interna costruita con la stessa tecnica e lo stesso spessore dell'involucro, in grado di funzionare come controvento e visibile all'esterno negli incastri con gli altri elementi orizzontali.



Parete interna in muratura al piano terra



Tramezza in legno al primo piano tra cucina e vano scala



Parete interna in *blockbau* al secondo piano

4.6 Aperture

Trattandosi di un'abitazione in alta montagna, le finestre sono di dimensioni limitate e dotate di strombatura interna e esterna, al fine di permettere un'illuminazione minima degli interni e allo stesso tempo di limitare quanto possibile le perdite di calore.

Le finestre sono poste in modo regolare e simmetrico (a coppie) sui lati Sud e Nord, sebbene con dimensioni maggiori verso meridione. Al primo piano in corrispondenza delle stanze d'abitazione, esse sono dotate di imposte esterne in legno, mentre in uno dei due locali di deposito del secondo piano l'imposta è interna. Tutte le finestre dello *stadel* hanno un'inferriata sul lato esterno del telaio, ma soltanto 2 su 11 sono ancora provviste del vetro singolo originale. Sul lato Sud del piano terra, dove il terreno è in pendenza, le due finestre della stalla affacciano su bocche di lupo alte 40 cm e profonde 1 m.



Finestra di una stanza d'abitazione



Finestra della cucina

L'apertura di porte e finestre nelle pareti in *blockbau* impone l'utilizzo di montanti, dotati di scanalature entro cui inserire i tronchi, per garantire verticalità e stabilità della struttura. Inoltre essi sono sagomati in modo da formare il telaio laterale delle aperture.

Le porte hanno un'altezza massima di 180 cm e larghezze differenti: quelle interne misurano 70-80 cm, mentre quelle esterne variano da 90 a 135 cm. Le porte che collegano l'aia di trebbiatura ai balconi sono a doppio battente e dimensionate tenendo conto dell'ingombro di un carico di fieno o cereali.

I serramenti sono in legno, ad eccezione di pochi elementi in metallo, come le cerniere delle finestre, le serrature e le maniglie di alcune porte.



Finestra della stalla sul lato Sud



Finestra del granaio



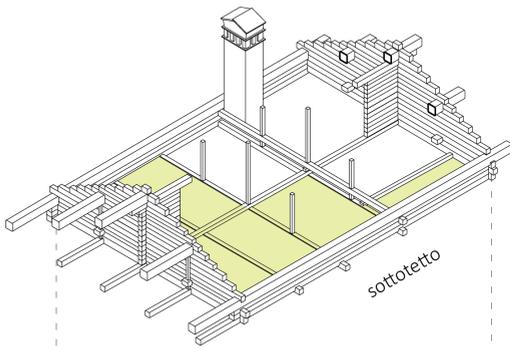
Porte d'accesso al granaio e al deposito



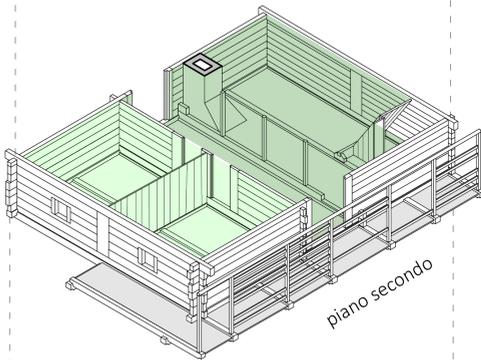
Porta d'accesso al balcone del secondo piano sul lato Est



Porta d'ingresso

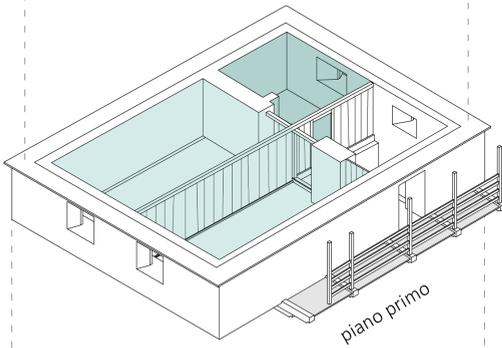


deposito per fieno
40,8 mq



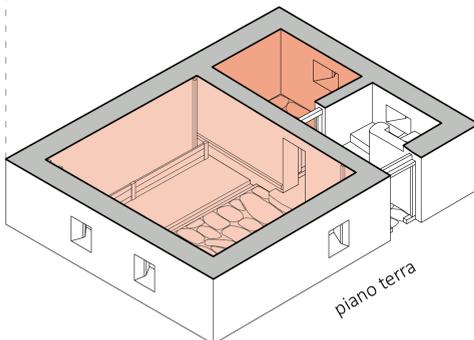
granaio e deposito
28 mq

aia di trebbiatura
35,3 mq



stanze di abitazione e lavoro
39 mq

cucina
8 mq



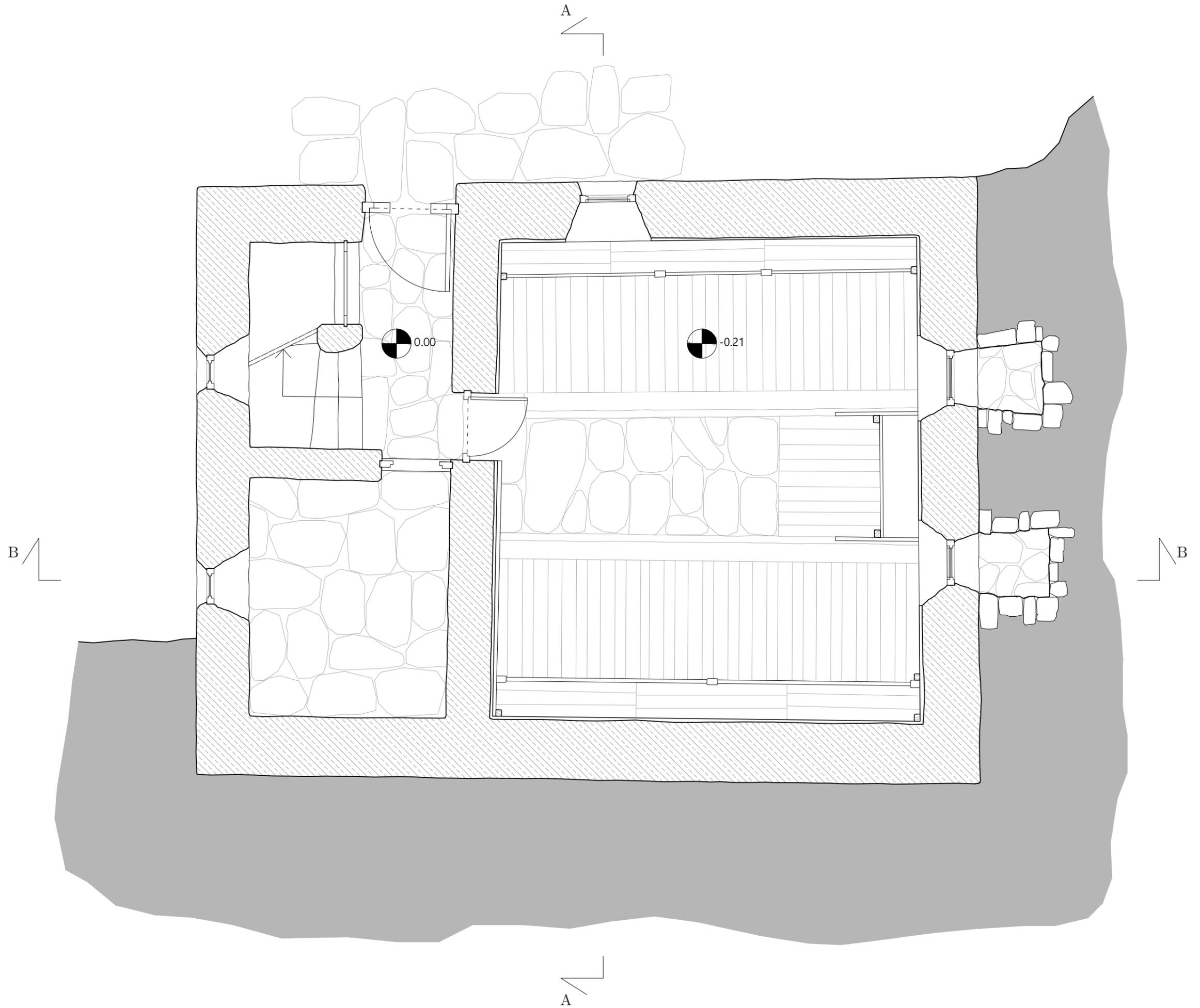
stalla
39 mq

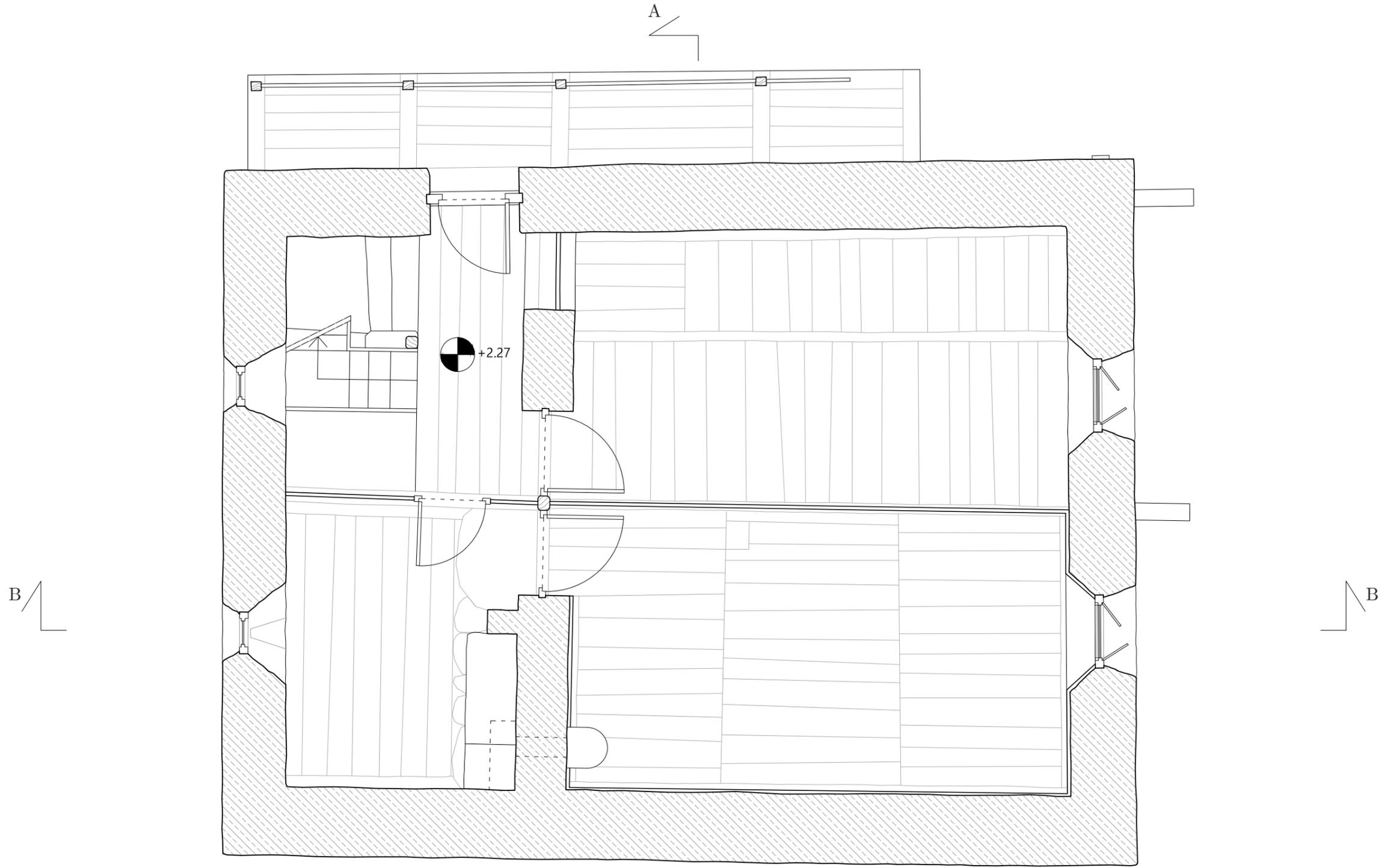
deposito/cantina
8,9 mq

STATO DI FATTO

Pianta piano terra

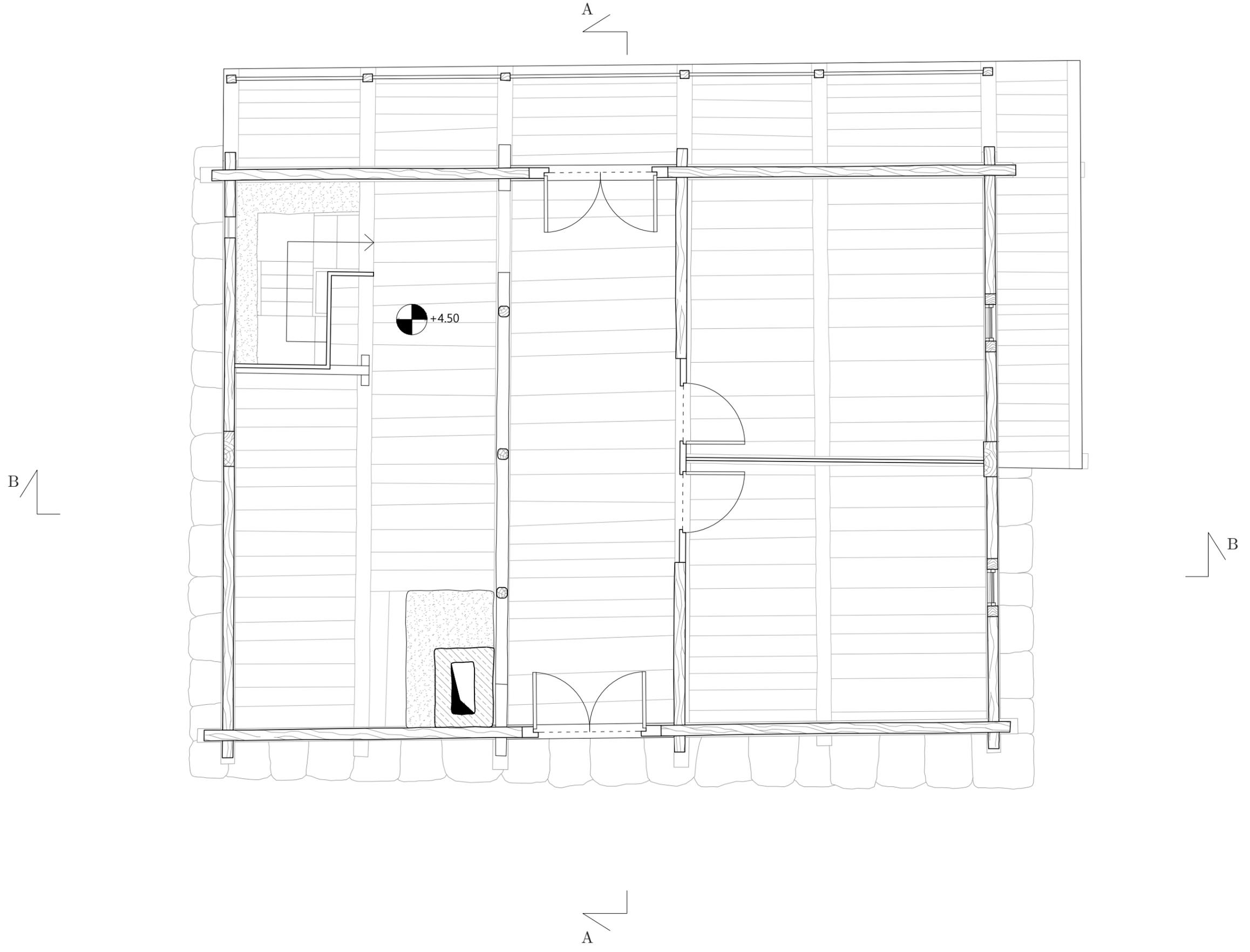
scala 1:50

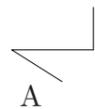
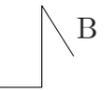
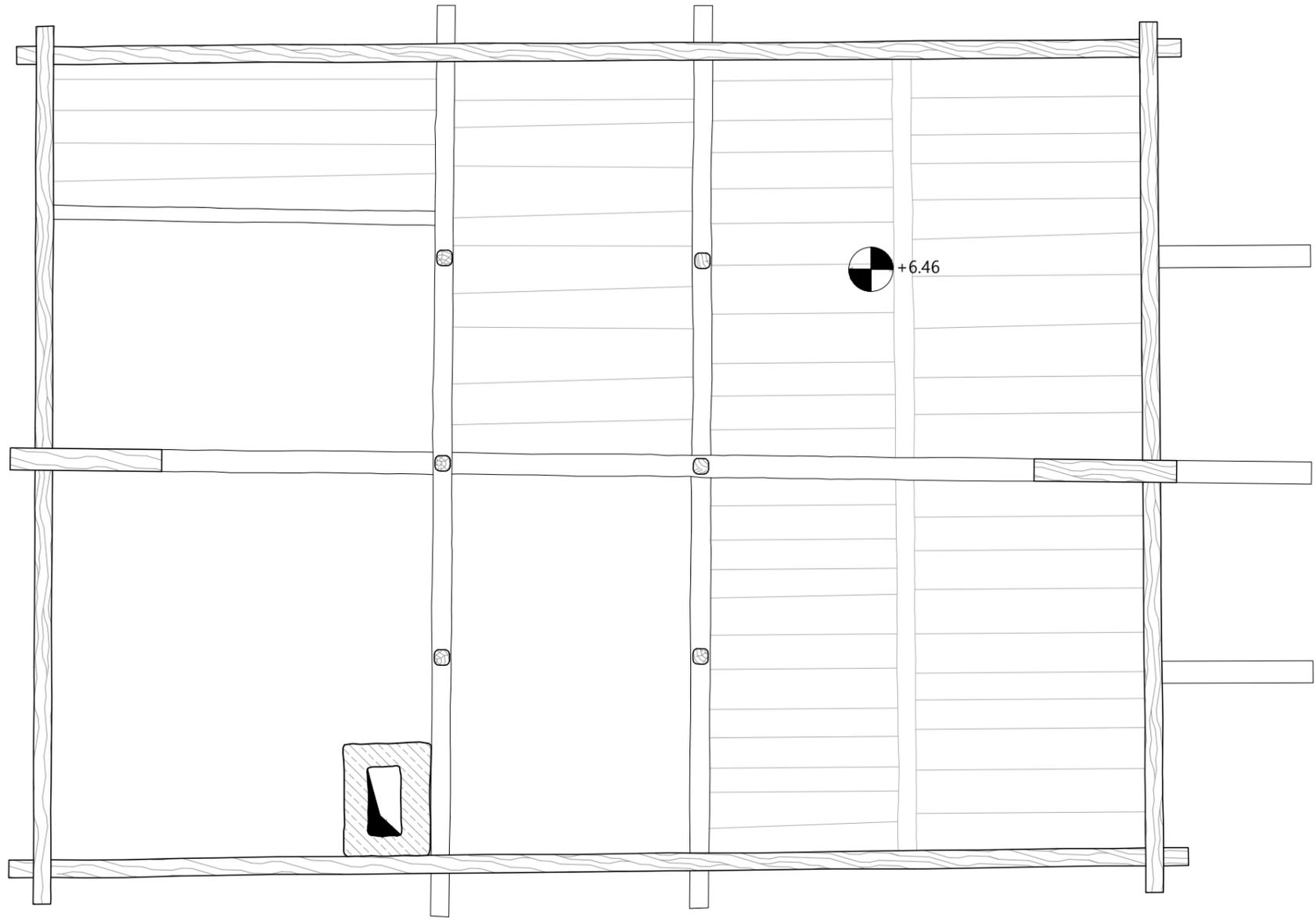
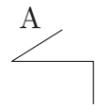


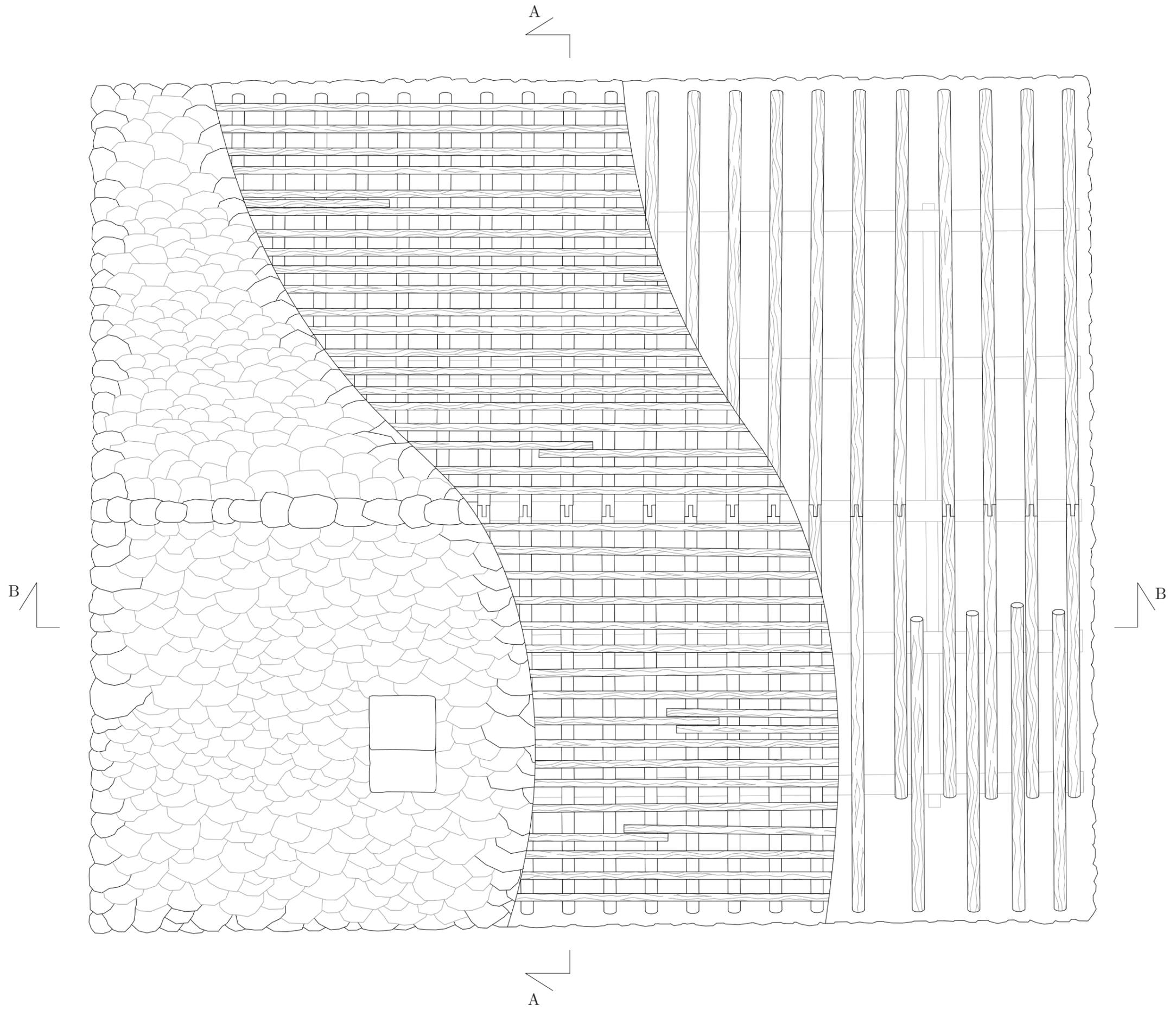


A









STATO DI FATTO

Prospetto Nord

scala 1:50



STATO DI FATTO

Prospetto Sud

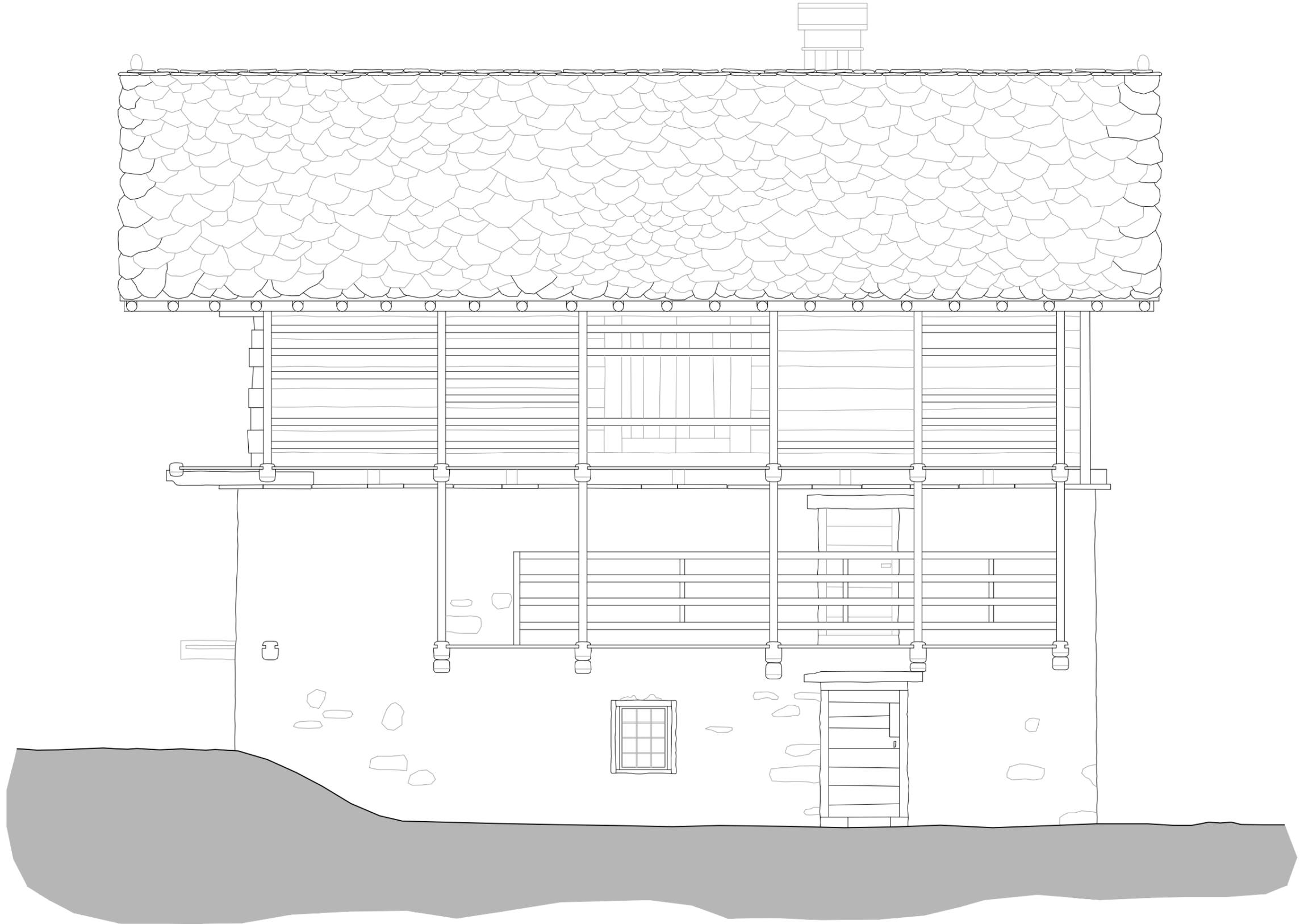
scala 1:50



STATO DI FATTO

Prospetto Est

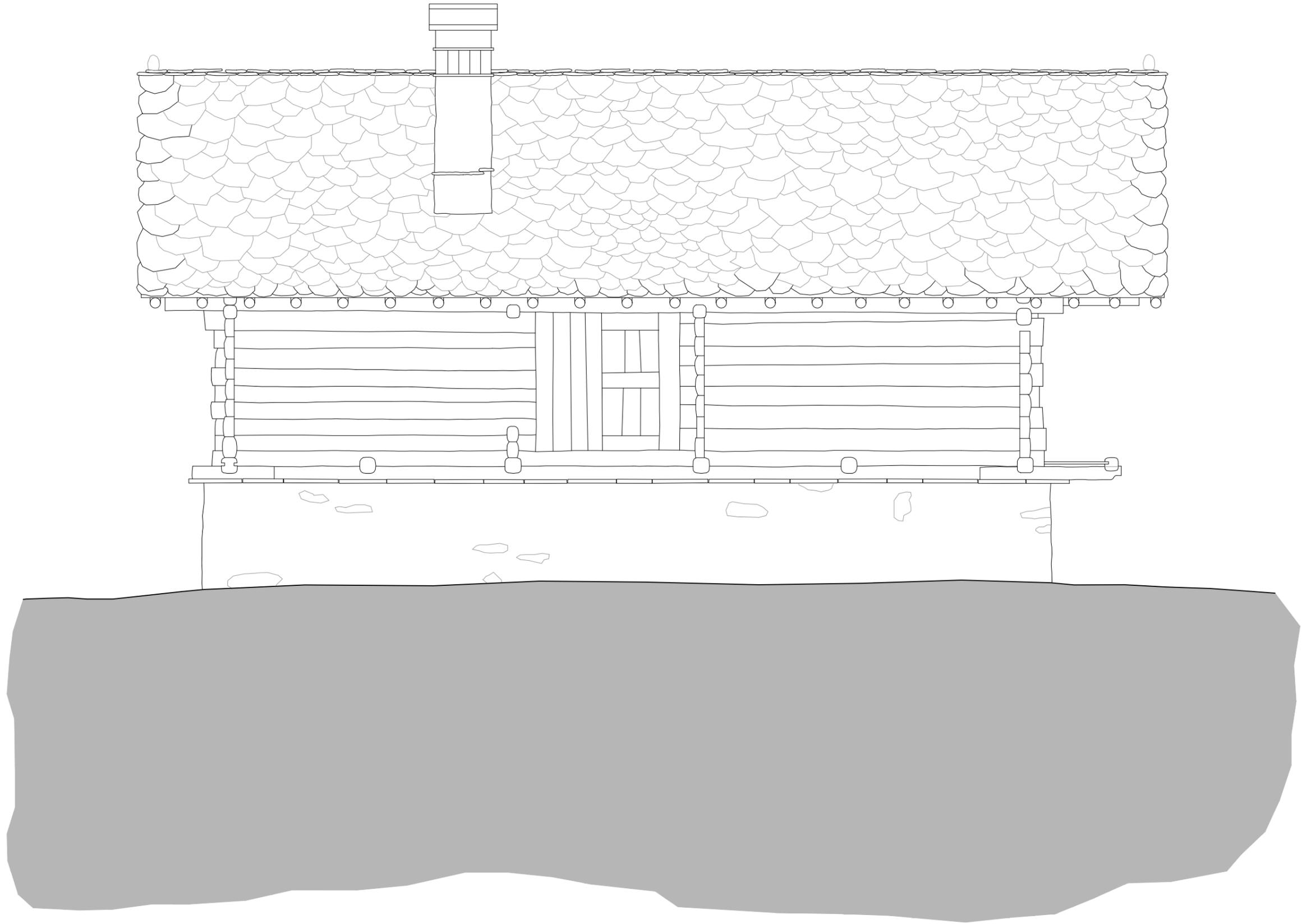
scala 1:50

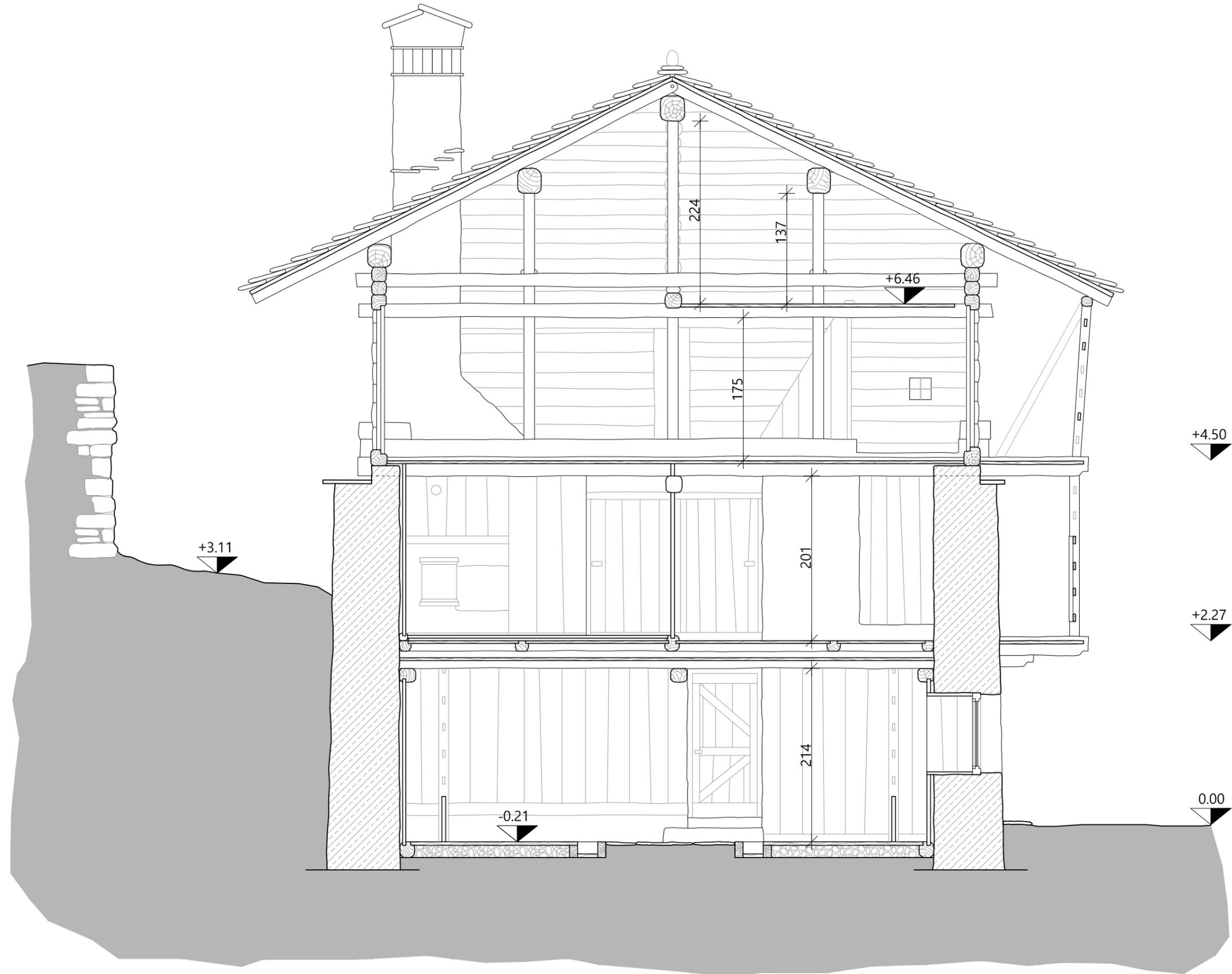


STATO DI FATTO

Prospetto Ovest

scala 1:50





STATO DI FATTO

Sezione B-B

scala 1:50



Capitolo 5

Legislazione locale vigente

Come previsto dalla legge regionale 11/1998 “Normativa urbanistica e di pianificazione territoriale della Valle d’Aosta”, i territori comunali sono suddivisi in zone territoriali omogenee con diverse destinazioni d’uso. Nel Piano Regolatore Generale di Gressoney-Saint-Jean, il villaggio di Balmetò è situato nella sottozona Ee11. Questa sottozona è definita “di specifico interesse paesaggistico, storico, culturale o documentario e archeologico”. La delibera della Giunta regionale 418/1999, ripresa dal PRG, classifica gli *stadel* (definiti come “edificio a prevalente struttura in legno, tipo *blockbau*, su basamento in pietra, con o senza interposizione di "funghi" la cui costruzione risalga a prima del 1945), come documento (cat. B1). Questo tipo di immobili presenta particolare interesse storico, culturale, etnografico, e documenta realtà sociali, economiche e produttive del passato e/o tecniche costruttive e caratteristiche compositive particolari.

Il Piano Territoriale Paesistico regionale suddivide il territorio in zone caratterizzate dalla prevalenza di componenti paesistico-ambientali, in cui sono ammessi diversi tipi di intervento e di attività. Queste porzioni di territorio sono determinate attraverso l’individuazione di sistemi ambientali, finalizzati alla tutela ambientale e paesistica del territorio. Il villaggio di Balmetò rientra nella categoria dei sistemi insediativi tradizionali a sviluppo integrato, che comprende ambiti in cui sono presenti insediamenti e attività tradizionali “interessati da processi di sviluppo che non comportano significative discontinuità nell’originario contesto rurale.”

L’art. 53 delle norme di attuazione del PRG specifica che “sui fabbricati che presentano tipologia e caratteristiche di pregio storico-architettonico meritevoli di specifica conservazione gli interventi non devono eccedere il restauro e il risanamento conservativo, assicurando la testimonianza dell’uso originario ed il mantenimento dei caratteri esterni distintivi dell’edificio”, che “nell’ambito degli interventi di manutenzione straordinaria, restauro e risanamento conservativo degli edifici, bisogna assicurare la testimonianza dell’uso originario degli edifici con il mantenimento dei caratteri esterni distintivi della relativa tipologia chiaramente differenziati da quelli determinati dal nuovo utilizzo”, infine che “nelle parti di fabbricato oggetto di recupero materiali e tecniche costruttive devono risultare coerenti con le preesistenze”. Inoltre, vengono specificate le destinazioni d’uso, gli interventi comportanti trasformazione urbanistica ed edilizia e gli interventi urbanistico-territoriali e paesaggistico-ambientali ammessi in ogni sottozona.

In materia di interventi edilizi, la normativa di riferimento è la delibera della Giunta regionale n. 1759/2014 “Approvazione delle tipologie e delle caratteristiche degli interventi edilizi e delle trasformazioni urbanistico-territoriali nelle zone dei piani regolatori generali, ai sensi dell’articolo 59, comma 4, della

5. Legislazione locale vigente

legge regionale 6 aprile 1998, n. 11”, e successive modifiche, in cui vengono specificati gli interventi ammessi per ogni tipo di intervento.

L’art.31 della legge regionale 17/2012 “Modifiche alla legge regionale 11/1998” determina che “nell’effettuazione di opere di restauro o di risanamento conservativo, anche con mutamento della destinazione d’uso, di fabbricati soggetti alla disciplina delle parti I e II del d.lgs. 42/2004 o classificati come monumenti, documenti o di pregio storico, culturale, architettonico o ambientale dai PRG, è consentito mantenere l’attuale situazione di fatto dei locali di abitazione limitatamente all’altezza interna utile, alla superficie finestrata apribile, alla superficie minima delle stanze da letto e di soggiorno e degli alloggi monostanza”. Nel caso in cui non sia mantenuta la situazione di fatto dei locali, è ammessa, previo parere della Soprintendenza per i beni e le attività culturali, la deroga ai limiti di altezza minima interna (2,20 m), di superficie minima delle stanze da letto (7,50 mq per una persona e 11,50 mq per due persone) e di superficie finestrata apribile (non inferiore a 1/16 della superficie di pavimento).

Per queste ragioni, la tipologia di intervento ammessa dalla normativa regionale e comunale vigenti finalizzata alla riqualificazione dell’edificio in esame è, oltre al restauro, quello del risanamento conservativo. Esso ha come scopo il recupero dell’edificio attraverso un insieme di interventi strutturali, igienico-sanitari, tecnologici, funzionali, volti anche al miglioramento dell’efficienza energetica.

A questo proposito, la normativa più recente che stabilisce i requisiti minimi di prestazione energetica e le relative metodologie di calcolo è la deliberazione della Giunta regionale 272/2016. Ai fini del progetto di recupero dell’edificio in esame, verranno presi in considerazione i limiti di trasmittanza termica relativi a interventi di riqualificazione energetica, ossia interventi sull’involucro edilizio e/o sugli impianti che hanno un impatto migliorativo sulla prestazione energetica dell’edificio.

Capitolo 6

Progetto

6.1 Obiettivi

Il progetto di recupero di un edificio antico come quello in esame non può prescindere da un'analisi dettagliata e approfondita dello stato di fatto. Conoscere e comprendere le ragioni che hanno determinato la forma e la distribuzione interna, la scelta di determinate tecniche costruttive, l'impiego di determinati materiali, lo stato di conservazione delle diverse parti, è fondamentale per determinare i tipi di interventi da mettere in atto al fine di dare nuova vita all'edificio.

Le esigenze espresse dalla committenza all'architetto incaricato sono la rifunionalizzazione a residenza secondaria nel rispetto della preesistenza e il miglioramento dell'efficienza energetica del fabbricato. Nella mia ipotesi di progetto, l'obiettivo è soddisfare queste esigenze seguendo un approccio ecosostenibile, con la scelta di materiali a basso impatto ambientale e l'applicazione di tecnologie per produrre energia da fonti rinnovabili.

In seguito al rilievo metrico e a un'attenta analisi visiva e documentale, vengono definiti gli interventi di trasformazione necessari al conseguimento di tale obiettivo.

6.2 Interventi sulla distribuzione interna

La conversione dello *stadel* da struttura adibita ad abitazione e laboratorio artigianale ad abitazione utilizzata saltuariamente richiede di ripensare le destinazioni d'uso originarie dei locali. Inoltre, l'adeguamento di un edificio settecentesco privo di servizi igienici e di impianti agli standard abitativi moderni rappresenta un'importante sfida nei confronti della tutela della preesistenza.

Data la necessità di ospitare una famiglia di 6 persone, è necessario ricavare almeno due stanze da letto e due servizi igienici. La scelta di collocare i locali umidi, ossia raggiunti da impianto idrico e sistema di scarico delle acque (cucina e bagni), al piano terra e al primo piano è motivata dalla possibilità di posare l'impianto idrico al di sotto del pavimento: il piano terra viene dotato di un nuovo solaio e viene sfruttata l'intercapedine tra i due tavolati nel solaio del primo piano. Dal momento che il piano terra è seminterrato, l'ex stalla è divisa in locali che vengono usati occasionalmente, tra cui bagno, sauna e zona docce. Le nuove pareti interne sono realizzate a secco con un telaio in legno e rivestimento con lastre di terra cruda. Il deposito collocato nell'angolo Nord-Ovest viene anch'esso dotato di un nuovo solaio e utilizzato come locale tecnico.

Al fine di creare un unico spazio più ampio al primo piano, da adibire a cucina e soggiorno, il tramezzo che separa le stanze d'abitazione viene rimosso. La porzione in legno della parete divisoria adiacente al vano scala è sostituita da una

6. Progetto

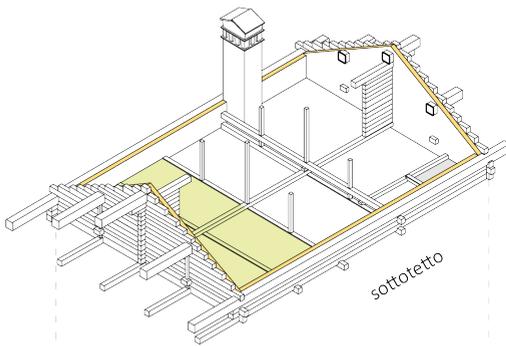
finestra fissa, per permettere una maggiore illuminazione naturale dell'ambiente, grazie anche alla nuova porta-finestra d'accesso al balcone. A fianco, dove ora si trova la cucina, viene collocato il secondo bagno.

I locali di deposito della scatola lignea vengono trasformati in due stanze da letto e il soppalco del sottotetto ospita un'ulteriore zona notte, illuminata da un lucernario con triplo vetro installato nella falda Est. La restante parte del piano può essere utilizzata come spazio per lettura e svago, illuminata dalle nuove porte-finestre a doppio battente poste sui lati Est e Ovest. Inoltre, data la posizione isolata dell'edificio, vengono create due nuove aperture: una nella parete Nord, per permettere di godere della vista sul Monte Rosa e di illuminare l'angolo Nord-Ovest dell'ambiente, e una nella parete Sud del sottotetto, per consentire la vista su parte della valle e sul capoluogo. In entrambe vengono posti in opera dei montanti laterali in legno, anche come richiamo alle finestre già presenti nella scatola in *blockbau*.

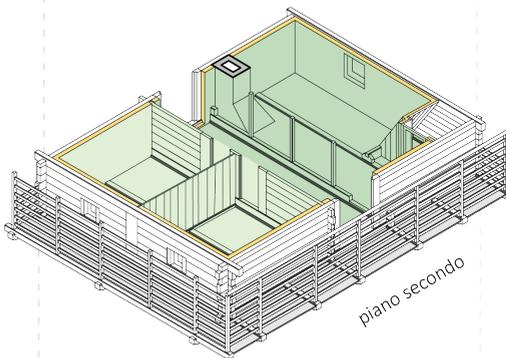
Lo stato di conservazione delle parti di balcone presenti richiede una pulitura dell'assito e l'integrazione di alcune parti per la messa in sicurezza: al primo piano, si mantiene lo sviluppo del balcone su parte del lato Est ma occorre introdurre nuovi montanti con le relative aste orizzontali di parapetto; al secondo piano, invece, è integrata la parte di balcone esistente sul lato Sud (con travi di sostegno, assito e parapetto mancanti) e le aste orizzontali sul lato Est.

Al fine di creare un collegamento tra il secondo piano e l'area esterna, viene costruita una scala esterna lato Ovest, in pietra e legno, in corrispondenza della porta-finestra a doppio battente. Al di sotto della scala vengono alloggiato le bombole del gas per cucinare, collegate alla cucina attraverso un foro nella muratura. Un'altra scala, interamente in pietra, viene realizzata in corrispondenza dell'angolo Sud-Ovest per agevolare l'accesso dal secondo piano all'area verde sul lato Sud.

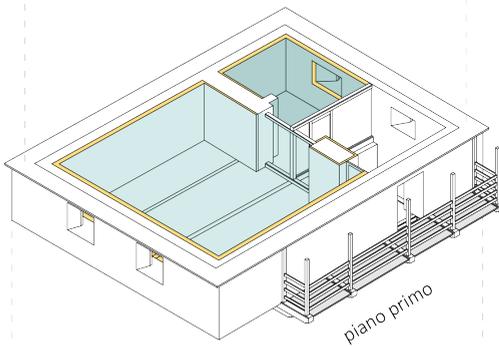
Interventi sulla distribuzione interna



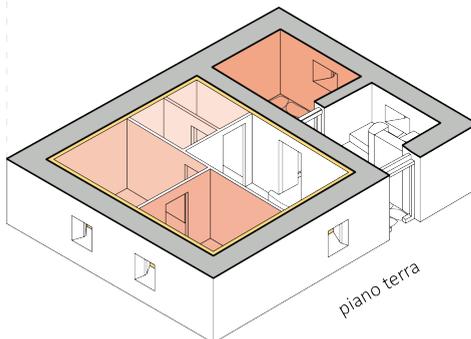
- cappotto termico
- camera da letto su soppalco
25,8 mq



- camere da letto
28 mq
- zona lettura e svago
35,3 mq



- cucina e soggiorno
39 mq
- wc
8 mq



- wc
5,8 mq
- zona docce
9,5 mq
- sauna
8,2 mq
- locale tecnico
8,9 mq

6.3 Interventi sulla struttura

6.3.1 Consolidamento delle fessurazioni

Fonti: nn. [13]-[16] in bibliografia.

Sia all'interno sia all'esterno delle murature dei lati Nord e Sud sono presenti delle fessurazioni, alcune delle quali riempite in passato con malta, che si sviluppano prevalentemente in senso diagonale. Nell'angolo Sud-Est del primo piano è visibile una spanciatura della muratura causata da schiacciamento.

Vi sono diversi interventi atti al consolidamento della struttura, tra cui:

- l'iniezione di miscele leganti
- l'introduzione di tiranti orizzontali in acciaio (catene)
- il placcaggio esterno con reti o nastri in fibra di carbonio

Dal momento che si tratta di un muro "a sacco", si sceglie di adottare le prime due soluzioni. Dopo la foratura laterale e lo scasso lineare sul lato interno della muratura, vengono inseriti e messi in trazione i tiranti, ancorati alle estremità Est e Ovest della parete, in modo da contenere e ridurre la deformazione. Si tratta di un intervento invasivo ma reversibile, che permette di conservare l'aspetto originario esterno.

Al fine di ripristinare la continuità interna della muratura e conferire all'intonaco esterno un aspetto quanto più omogeneo possibile, si procede alla rimozione dei tentativi passati di sigillatura e a una stuccatura delle fessurazioni, in modo da evitare la fuoriuscita della miscela consolidante durante l'iniezione. Questo processo avviene mediante piccoli tubi inseriti in fori orizzontali praticati nei giunti. Infine, le zone oggetto dell'intervento vengono rivestite con un intonaco quanto più simile possibile a quello originario. Le zone interessate da fenomeni fessurativi minori vengono mantenute nello stato attuale.

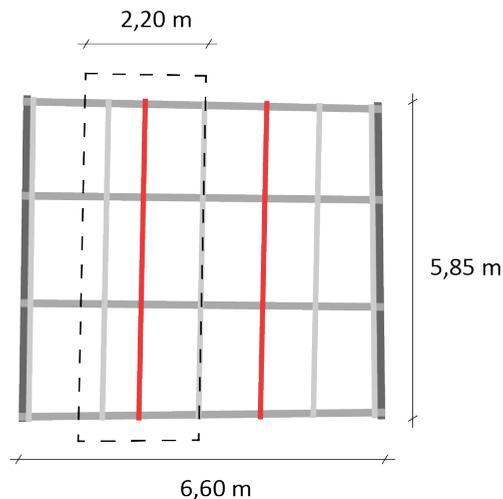


6.3.2 Nuove travi in acciaio

Per aumentare l'altezza interna utile del piano terra, la trave centrale di sostegno del solaio del piano superiore viene rimossa e sostituita da due travi in acciaio, installate all'interno del solaio sfruttando l'intercapedine tra soffitto e pavimento dei due piani. Queste nuove travi svolgono la funzione di supporto delle travi lignee disposte in senso ortogonale, che sono "appese" e non più posate sul

sostegno centrale (vedi schema sotto). Le estremità sono inserite all'interno di scassi praticati nella muratura e posate su dormienti in pietra, in modo da distribuire su una superficie maggiore il carico trasmesso dalle nuove travi. Nella porzione di muratura attorno alle teste delle travi vengono effettuate iniezioni di miscele leganti di consolidamento.

Il dimensionamento di massima è effettuato utilizzando lo strumento di calcolo sul sito oppo.it [17], secondo lo schema statico con due estremità appoggiate e carico uniformemente distribuito. La somma dei carichi, sia permanenti sia variabili, tiene conto del peso proprio delle due orditure di travi lignee presenti, del nuovo solaio del primo piano e del sovraccarico dovuto all'utilizzo dei locali sovrastanti. Le nuove travi sono posizionate in modo da suddividere l'area del solaio in tre parti uguali.



La massa superficiale del nuovo solaio è $74,5 \text{ kg/m}^2$ e il suo carico nella larghezza dell'area considerata è pari a:

$$74,5 \text{ kg/m}^2 \cdot 2,2 \text{ m} = 163,9 \text{ kg/m}$$

La sezione di una delle travi lignee principali misura $0,035 \text{ m}^2$ e il volume si ottiene moltiplicando questo valore per la larghezza dell'area di carico:

$$0,035 \text{ m}^2 \cdot 2,2 \text{ m} = 0,077 \text{ m}^3$$

La densità del legno di larice con basso tasso di umidità è pari a 450 kg/m^3 . La massa delle porzioni in esame delle 4 travi principali è:

$$0,077 \text{ m}^3 \cdot 450 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 = 138,6 \text{ kg}$$

Il carico si ottiene dividendo questo valore per la luce da coprire:

$$\frac{138,6 \text{ kg}}{5,85 \text{ m}} = 23,7 \text{ kg/m}$$

6. Progetto

La sezione di una delle travi lignee secondarie è $0,017\text{ m}^2$ e il suo volume si misura moltiplicando la sezione per la lunghezza:

$$0,017\text{ m}^2 \cdot 5,85\text{ m} = 0,1\text{ m}^3$$

Utilizzando lo stesso valore di densità del legno, la massa delle 5 travi secondarie è data da:

$$0,1\text{ m}^3 \cdot 450\text{ kg/m}^3 \cdot 5 = 225\text{ kg}$$

Questo valore si riferisce all'intera area di pavimento, quindi è sufficiente considerarne $1/3$:

$$\frac{225\text{ kg}}{3} = 75\text{ kg}$$

Il carico delle travi secondarie si ottiene dividendo il risultato per la luce da coprire:

$$\frac{75\text{ kg}}{5,85\text{ m}} = 12,8\text{ kg/m}$$

Occorre considerare anche un carico variabile di 200 kg/m^2 (dato da NTC 2018, cat. A – ambienti ad uso residenziale), che nell'area considerata diventa:

$$\frac{200\text{ kg/m}^2}{2,2\text{ m}} = 440\text{ kg/m}$$

Il peso proprio della nuova trave in acciaio è ipotizzato pari a 50 kg/m . Quindi il carico totale è pari alla somma dei carichi calcolati:

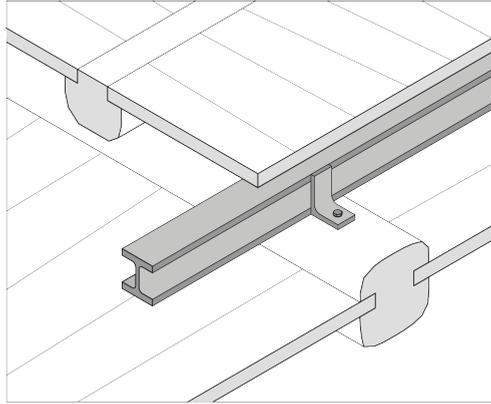
$$163,9 + 23,7 + 12,8 + 440 + 50 = 690,4\text{ kg/m}$$

Inserendo questo dato sul sito oppo.it, insieme alla luce da coprire e il tipo di acciaio (S275, tensione ammissibile 1900 kg/cm^2), si ottengono i seguenti valori:

- Momento flettente massimo: $2953,4\text{ kg m}$
- Modulo di resistenza minimo: $155,4\text{ cm}^3$

Con questi risultati il sito mostra le dimensioni minime dei diversi profili in acciaio (IPE 200, HEA 160, HEB 140, HEM 100). Data l'altezza limitata disponibile all'interno del solaio interpiano, si sceglie di utilizzare il profilo con l'altezza minore, ossia HEM 100. Il suo peso è $48,8\text{ kg/m}$ e il modulo di resistenza massimo è pari a 194 cm^3 .

La giunzione tra le travi avviene tramite staffe metalliche a L, saldate alle ali superiore e inferiore delle travi in acciaio e avvitate al lato superiore delle travi lignee (vedi schema a pagina seguente).



6.3.3 Rinforzo di trave lignea con FRP

Fonti: nn. [12], [18]–[20] in bibliografia.

La rimozione del tramezzo ligneo che divide le stanze d'abitazione del primo piano implica la perdita del sostegno centrale per la parete interna in blockbau del secondo piano, già soggetta a fenomeni di flessione provocati non solo dal peso proprio ma anche dal carico della copertura trasmesso tramite montanti. Esistono diverse soluzioni di rinforzo per contenere la deformazione della trave inferiore della parete, tra cui le seguenti:

- l'utilizzo di un pilastro in legno per trasmettere parte del carico al solaio del primo piano
- l'accoppiamento di profilati metallici e trave in legno, uniti tramite connettori meccanici
- l'applicazione di materiali compositi fibrorinforzati (FRP, fiber reinforced polymer)

La prima soluzione comporta l'introduzione di un nuovo carico nel calcolo per il dimensionamento delle travi in acciaio da inserire all'interno del solaio in questione, determinando la necessità di impiegare un profilo le cui dimensioni potrebbero eccedere l'altezza a disposizione all'interno del solaio. Per quanto riguarda il secondo sistema, gli svantaggi sono la visibilità delle componenti in acciaio in una costruzione interamente in pietra e legno, la bassa reversibilità dell'intervento (dato l'utilizzo di viti passanti tra gli elementi metallici di rinforzo e la trave esistente, alloggiata in fori praticati nella stessa), infine la necessità di demolire e ricostruire porzioni della muratura per la posa dei profili in acciaio. Si sceglie quindi di utilizzare la terza soluzione.

L'ICOMOS (Consiglio internazionale dei monumenti e dei siti) favorisce, per la conservazione delle strutture lignee antiche, interventi di rinforzo reversibili, in modo da permettere eventuali sostituzioni future con materiali e tecniche più avanzati. L'impiego di materiali innovativi come i compositi fibrorinforzati

6. Progetto

permette di migliorare le proprietà meccaniche delle strutture (in muratura, calcestruzzo o legno) contenendo le dimensioni dei rinforzi, siano essi interni o esterni all'elemento. I compositi sono costituiti da una matrice polimerica di natura organica e fibre di rinforzo; le più utilizzate in campo civile sono di carbonio (CFRP), di vetro (GFRP) e aramidiche (AFRP). Se da un lato le fibre di carbonio sono meno sensibili alle sollecitazioni ambientali e ai fenomeni di scorrimento viscoso (creep), le fibre aramidiche resistono meglio a carichi impulsivi, mentre quelle di vetro assecondano meglio le deformazioni del legno, grazie al basso valore del modulo di elasticità normale e all'elevato valore di deformazione a rottura.

In fase di produzione, le fibre vengono disposte sullo stesso piano in configurazione monodimensionale, conferendo al materiale proprietà di rigidità e resistenza molto più elevate della configurazione tridimensionale grazie alla minore densità di difetti. I compositi fibrorinforzati sono prodotti e commercializzati in diverse geometrie, da profili e lamine pultrusi dello spessore di pochi millimetri a tessuti che si adattano facilmente a strutture di forma irregolare.



Barre, tessuto e lamine di FRP

Tabella 2-1 – Confronto tra le proprietà delle fibre di rinforzo e delle matrici più comuni e dell'acciaio da costruzione (valori indicativi).

	Modulo di elasticità normale E	Resistenza a trazione σ_r	Deformazione a rottura ϵ_r	Coefficiente di dilatazione termica α	Densità ρ
	[GPa]	[MPa]	[%]	[$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$]	[g/cm^3]
Fibre di vetro E	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5	5 – 5.4	2.5 – 2.6
Fibre di vetro S	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
Fibre di carbonio (alto modulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
Fibre di carbonio (alta resistenza)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
Fibre aramidiche	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.44 – 1.47
Matrice polimerica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
Acciaio da costruzione	206	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30	10.4	7.8

Il rinforzo di travi può avvenire in zona tesa o in zona compressa o entrambe. Nel caso in oggetto, è preferibile intervenire sulla parte in tensione della trave, ossia quella inferiore, data la maggiore accessibilità. L'applicazione dei rinforzi può avvenire internamente o esternamente all'elemento: il primo caso consiste nella realizzazione di scanalature più o meno importanti nella trave (sui lati, sull'intradosso o sull'estradosso) e nella posa dei compositi, mentre nell'altro caso gli elementi fibrorinforzati sono uniti alla trave tramite incollaggio o connettori meccanici. Se da un lato l'intervento interno permette di nascondere gli elementi di rinforzo, dall'altro i tagli riducono la capacità di trasferire le sollecitazioni lungo le fibre del legno.

Come accennato, l'unione tra la trave e il materiale fibrorinforzato può utilizzare resine epossidiche strutturali o viti e bulloni. I vantaggi offerti dall'incollaggio, rispetto alle giunzioni di tipo meccanico, sono molteplici: la rigidità del collegamento è maggiore, la distribuzione dei carichi avviene in modo più uniforme, non sono presenti fori che possono causare concentrazioni tensionali, la resistenza a fatica è più elevata, ecc. Tuttavia è necessario tenere a mente che gli adesivi sono sensibili alle condizioni ambientali, come l'umidità, e sono dotati di scarsa resistenza al fuoco (infatti sono soggetti a bruschi cali di resistenza con temperature intorno a 100°C).

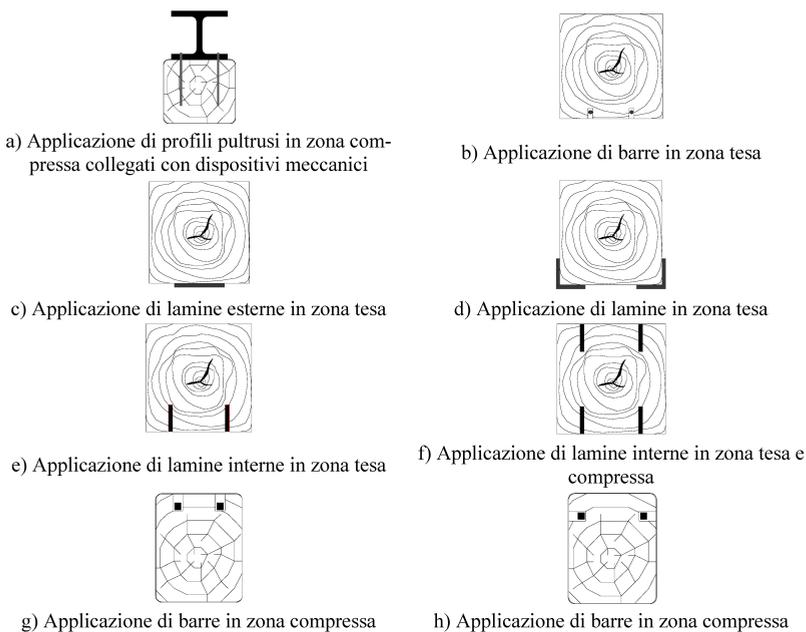


Figura 6-2 – Possibili applicazioni di rinforzi di FRP.

Per queste ragioni, la scelta è ricaduta sull'applicazione di elementi di rinforzo esterni (lamine) tramite incollaggio, meno invasivi, reversibili e in grado di bloccare la propagazione di eventuali fessurazioni dovute a difetti del legno.



Esempi di applicazione di lamine FRP in zona tesa di travi lignee [12]

6.4 Interventi di riqualificazione energetica

Accanto agli interventi volti alla rifunzionalizzazione dello stadel e al miglioramento del comfort abitativo, vi sono quelli per il contenimento dei consumi energetici. La complessità risiede nel valutare quali materiali e quali tecniche di risparmio energetico possono integrarsi nell'edificio. Per questo motivo, sono stati scelti materiali naturali secondo i principi della bioedilizia, quali legno, canapa e terra cruda. Inoltre, considerando la preferenza per interventi reversibili, sono favorite lavorazioni a secco.

Le opere necessarie al miglioramento dell'efficienza energetica dello stadel riguardano l'applicazione di un cappotto termico interno, l'installazione di nuovi infissi energeticamente performanti nello spessore del cappotto, la realizzazione di un nuovo vespaio isolato al piano terra, l'isolamento della copertura e l'installazione di sistemi di produzione di energia per riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria che utilizzano fonti rinnovabili.

6.4.1 Cappotto termico

L'isolamento termico delle strutture opache gioca un importante ruolo nel benessere abitativo, specialmente nelle regioni a clima rigido come quella in esame. La scelta di intervenire dall'interno è dettata dalla volontà di salvaguardare quanto più possibile l'aspetto esterno originario, sia la parte in muratura sia quella in legno. L'applicazione del cappotto isolante riguarda soltanto i locali d'abitazione, quindi vengono esclusi il vano scala e l'ex deposito del piano terra, trasformato in locale tecnico.

I materiali scelti sono igroscopici ed ecocompatibili, quindi permettono di mantenere una naturale regolazione dell'umidità dell'ambiente interno. Essi dipendono dal tipo di struttura esistente da isolare. Nel caso della muratura, si sceglie di applicare uno strato di intonaco termico sulla struttura esistente per creare una superficie piana di supporto. Quindi viene posata la sottostruttura a telaio in legno-sughero-legno come sostegno ai pannelli isolanti in fibra di canapa.

Per il tamponamento vi sono due soluzioni: lastre di terra cruda rinforzata con fibre di legno, fissate al telaio e rivestite con intonaco traspirante in terra cruda; oppure il riutilizzo della boiserie originale, opportunamente pulita e recuperata, anch'essa fissata alla sottostruttura. In entrambi i casi, una membrana di freno al vapore igrovariabile è interposta tra i pannelli isolanti e il rivestimento, per limitare la formazione di condensa tra gli strati del cappotto nel periodo invernale e favorire la traspirabilità del vapore nel periodo estivo. Nella scatola lignea il cappotto interno non utilizza l'intonaco termico e la membrana di freno al vapore, ma una guaina di tenuta all'aria da posare tra la parete in tronchi e l'isolamento.

La scelta di costruire lo stadel a ridosso del pendio fu forse dettata dalla volontà di sfruttare dell'inerzia termica del terreno, tuttavia ciò ha determinato l'insorgere di fenomeni di degrado causati dall'umidità nelle strutture a diretto contatto con esso. Per questo motivo è necessario intervenire sui muri controterra e sul solaio del piano terra. Nel primo caso, occorre effettuare uno scavo esterno in adiacenza ai muri e creare uno strato di drenaggio composto di ghiaia, alla cui base viene posato un tubo per la conduzione dell'acqua raccolta, oltre ad applicare una membrana plastica impermeabile a contatto con le pareti e uno strato di protezione in geotessuto. Per quanto riguarda l'isolamento del piano terra dall'umidità del terreno, si provvede allo scavo a mano per la realizzazione del nuovo solaio controterra. Questo ha la funzione isolare termicamente l'ambiente interno, di ospitare gli impianti idrico-sanitario e di riscaldamento e di limitare i fenomeni di risalita capillare dell'umidità nelle murature. Dopo la posa di un geotessuto sul terreno, si provvede alla realizzazione del vespaio drenante e isolante in ghiaia di vetro cellulare, su cui viene posato un secondo strato di geotessuto. Sopra di esso si trova il sottofondo a secco per gli impianti, costituito da scaglie sciolte di legno mineralizzato. Successivamente sono posati pannelli isolanti in fibra di legno come supporto ai pannelli radianti, anch'essi in fibra di legno e sagomati per ospitare i tubi. Il pavimento è costituito dalle tavole di larice originali, opportunamente pulite e recuperate. Sia all'interno che all'esterno vengono mantenute le quote di calpestio attuali.

La concentrazione di gas radon nel territorio comunale è misurata dall'ARPA Valle d'Aosta in edifici campione a partire dal 1990 e risulta pari a 37,6 Bq/m³, inferiore alla media nazionale e al limite posto dalla Direttiva Europea 2013/59/EURATOM di 300 Bq/m³ [21]. Questo dato non rende indispensabile la creazione di un vespaio ventilato al piano terra, che richiederebbe interventi più importanti sulla muratura, bensì rimane opportuno arieggiare i locali del piano terra regolarmente.

Un'altra parte dell'involucro opaco oggetto di interventi volti a migliorare il benessere e l'efficienza energetica è la copertura. Lo stato di conservazione della carpenteria è buono, ad eccezione di alcuni puntoni ammalorati che devono essere sostituiti. Il manto in lose presenta alcune lacune, causa di degrado lieve negli ambienti del sottotetto, ma la maggior parte degli elementi può essere reimpiegata. L'intervento prevede, in seguito allo smontaggio del manto di copertura, la posa di un tavolato all'estradosso dei puntoni e la posa di pannelli isolanti in fibra di canapa nell'area sovrastante i locali interni. Sopra il doppio strato isolante

6. Progetto

vengono posate una membrana impermeabile e traspirante, come protezione da eventuali infiltrazioni d'acqua, e un'orditura di listelli per la ventilazione del manto. Infine, un tavolato ligneo è fissato a sostegno del manto in pietra. Una grondaia è applicata sui lati Est ed Ovest.

6.4.2 Nuovi infissi

Sempre al fine di migliorare l'isolamento termico dell'edificio, è importante intervenire anche sui componenti trasparenti. Le finestre originarie sono costituite, nei primi due piani, da un telaio fisso inserito nella muratura, a cui è fissata un'inferriata in metallo, e un telaio mobile con una o due ante con vetro singolo; quelle del piano in blockbau, invece, sono semplicemente addossate a montanti dello stesso spessore delle pareti esterne. In questo caso, le inferriate sono inserite direttamente nei tronchi orizzontali e nei montanti laterali. Tutte le finestre sono decorate con listelli divisori in legno, tuttavia la maggior parte è priva del vetro, probabilmente a causa di danni sofferti nel tempo.

Data la volontà di conservare l'aspetto esterno quanto più possibile, si procede all'integrazione delle finestre originarie e all'installazione di nuovi infissi energeticamente performanti in legno sul lato interno della parete, nello spessore del cappotto termico, per consentire l'apertura degli infissi originari. I nuovi infissi sono dotati di doppi vetri basso-emissivi a bordo caldo, ossia il perimetro dell'intercapedine di gas è composto da materiale isolante che riduce la formazione della condensa sul vetro [28]. La coibentazione delle pareti non prevede l'applicazione di isolante nelle imbotti, che sono invece rivestite con intonaco termico, data la posizione del cappotto termico sul lato interno della muratura. Inoltre, il ponte termico rappresentato dal giunto finestra-parete esistente viene risolto con l'impiego di isolante in fibra di canapa tra telaio fisso e muratura.



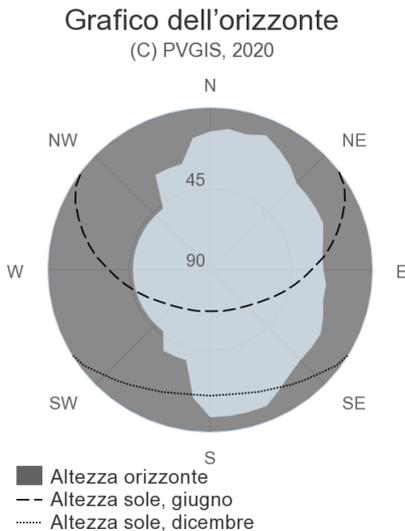
Tutte le porte esterne sono interamente in legno; l'unica che viene mantenuta è quella d'ingresso. Le restanti sono sostituite con porte-finestre dotate delle stesse caratteristiche delle nuove finestre, al fine di favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni.

6.4.3 Produzione di energia

La scelta di migliorare le prestazioni energetiche di un edificio attraverso la coibentazione delle diverse componenti consente di conservare energia termica. Per rendere il fabbricato sostenibile dal punto di vista operativo e minimizzare i consumi energetici, è importante che il sistema di produzione del calore sia efficiente. Inoltre, si sceglie di installare sistemi di produzione da fonti rinnovabili.

Trattandosi di un ambiente di alta montagna, il sole costituisce una risorsa gratuita importante, ma il suo contributo diminuisce sensibilmente nei mesi invernali sia per l'altezza solare sia per l'ostacolo rappresentato dalle montagne. Diventa perciò opportuno analizzare l'efficacia di sistemi che sfruttano l'irraggiamento solare. Come risultato di queste analisi, si sceglie di installare una pompa di calore per la produzione di acqua calda (sia sanitaria sia per il riscaldamento a pannelli radianti), integrata da collettori solari installati sulla copertura, e una stufa a biomassa per il riscaldamento dell'ultimo piano.

È stata anche presa in considerazione la possibilità di installare pannelli fotovoltaici sulla copertura utilizzando lo strumento PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) del Joint Research Centre della Commissione Europea [29]. Esso fornisce i valori dell'irraggiamento solare medio mensile in una determinata località, su un piano con inclinazione e orientamento stabiliti dall'utente, oltre al grafico dell'orizzonte e alle altezze solari nei mesi di giugno e dicembre (riportati nella sezione sul solare termico).



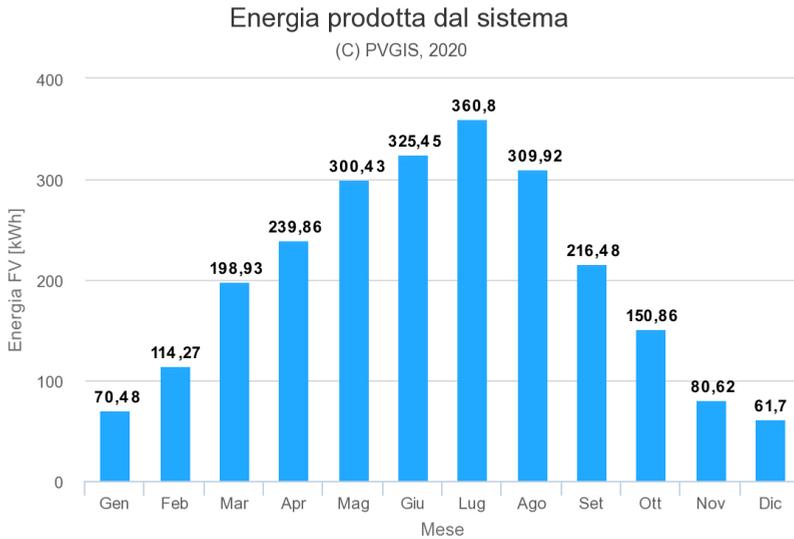
Come simulazione, è stato scelto un piano parallelo alla falda Est dello stadel (inclinazione 29° e orientamento -90°), poiché qui l'irraggiamento solare è maggiore rispetto alla falda Ovest. Inserendo dati quali la potenza di picco e le perdite del sistema dei pannelli, il software mostra i valori di energia media mensile prodotta [kWh], permettendo di valutare l'efficacia del fotovoltaico. Considerando che l'efficienza dei migliori pannelli sul mercato non supera il 22% [32], è opportuno fare alcune considerazioni sulla realtà locale. In Valle d'Aosta sono presenti numerose centrali idroelettriche, in grado di produrre 2,9 miliardi di kWh all'anno; nella valle del Lys se ne contano quattro, di cui una a Gressoney-Saint-Jean. Il processo di produzione di energia nelle centrali idroelettriche può

essere considerato sostenibile perché utilizza una fonte rinnovabile e, in teoria, inesauribile, oltre a non emettere in atmosfera prodotti derivati da combustione. Tuttavia, le opere necessarie alla costruzione delle centrali, soprattutto se di grandi dimensioni, come l'allagamento di ampie parti di territorio per il

6. Progetto

funzionamento delle dighe e le modifiche importanti all'assetto originario dei corsi d'acqua, rappresentano un limite notevole alla sostenibilità ambientale del sistema. [30], [31]

La simulazione viene effettuata con 7 pannelli, ciascuno con una potenza di picco di 400 W (ossia in presenza di un irraggiamento solare di 1000 W/m^2 e una temperatura di $25 \text{ }^\circ\text{C}$) e $1,76 \text{ m}^2$ di superficie captante. [32]



I risultati mostrano come l'altezza solare e l'ostacolo rappresentato dalle montagne influiscano sensibilmente sulla produzione di energia elettrica dei pannelli.

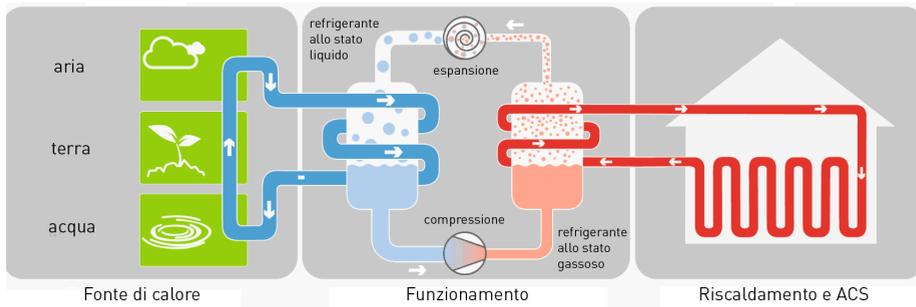
Per valutare l'efficacia del sistema come integrazione al riscaldamento, si prende in considerazione il mese di dicembre, quando il fabbisogno che la pompa di calore deve soddisfare è maggiore, così come la quantità di energia elettrica assorbita dalla macchina. In questo periodo, il fotovoltaico è in grado di produrre 2 kWh al giorno. Dividendo questo valore per il numero di ore di funzionamento della pompa di calore (dimensionata nel capitolo seguente) si desume che il contributo offerto al sistema di riscaldamento è insufficiente. Se si considera anche che l'edificio viene utilizzato come seconda casa, soltanto in alcuni periodi dell'anno, quindi con consumi elettrici ridotti rispetto a un'abitazione principale, l'installazione di un impianto fotovoltaico non risulta economicamente conveniente, con un prezzo che varia da 2000 a 3500 €/kWh di picco. [33]

6.4.4 Pompa di calore

Fonti: nn. [35]–[37] in bibliografia.

Solitamente in alta montagna i sistemi di riscaldamento delle abitazioni utilizzano combustibili fossili (gasolio, gas) e/o legna o pellet. Il territorio comunale non è raggiunto da reti di distribuzione (quali metano e teleriscaldamento), quindi ogni fabbricato deve provvedere alla propria produzione di energia per il riscaldamento.

Un sistema in grado di generare calore senza ricorrere alla combustione è la pompa di calore. Il funzionamento si basa sul principio inverso della refrigerazione: invece di trasferire calore dall'interno verso l'esterno, essa è in grado di estrarre calore dall'aria esterna. Ciò è possibile grazie al fluido refrigerante presente nella macchina, che evapora a basse temperature e genera calore in seguito a compressione. L'energia termica è trasferita al sistema di riscaldamento (ed eventualmente al sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria) e il refrigerante torna allo stato liquido. La pompa di calore può estrarre calore dall'aria esterna, dall'acqua del sottosuolo o dal terreno, e trasferirlo all'ambiente interno sotto forma di aria o di acqua. Il coefficiente di prestazione (COP) indica il rapporto tra l'energia termica ricavata dalla sorgente e l'energia elettrica consumata dalla macchina, e generalmente è maggiore di 3. Naturalmente più è elevata la temperatura della sorgente, più calore la macchina è in grado di estrarre e trasferire al sistema.



Nel caso dell'edificio in oggetto, propongo di impiegare una pompa di calore aria-acqua in grado di mantenere l'efficienza fino a una temperatura esterna di -25°C . L'energia termica prodotta dalla macchina è utilizzata per riscaldare l'acqua di mandata a bassa temperatura dei pannelli radianti a pavimento del piano terra e del primo piano, e l'acqua calda sanitaria. Per il dimensionamento della pompa di calore e del relativo serbatoio di accumulo, è necessario conoscere le dispersioni termiche dei locali da riscaldare e l'energia necessaria per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

A tal fine, è stato utilizzato Termo, un software per la verifica delle prestazioni energetiche dell'edificio [34]. Inserendo alcuni dati sulla posizione, il programma presenta automaticamente i dati climatici e le temperature di progetto della località in base alle normative vigenti. Per delineare la zona termica oggetto del calcolo, è necessario creare le stratigrafie delle varie componenti disperdenti

6. Progetto

verso l'esterno e verso i locali non climatizzati utilizzando i materiali presenti nell'abaco del programma o inserendone altri. In questo modo è possibile verificare le proprietà termoigrometriche delle strutture (pareti, solai, copertura, aperture) secondo i limiti forniti dalla normativa locale. Oltre a specificarne la superficie e l'orientamento, per tenere conto degli apporti solari eventualmente limitati dalla presenza di ostruzioni esterne, occorre applicare le trasmittanze lineari dei diversi tipi di ponti termici presenti. I risultati del calcolo mostrano la potenza termica dispersa da ogni locale creato e, per ogni mese del periodo considerato, il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento.

Locale	Potenza termica dispersa [W]
piano terra (ex stalla)	1674
soggiorno e cucina	896
WC	374
secondo piano	2157
sottotetto	1783
Totale	6584

Un sistema di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento eroga mediamente, in una stanza di 10 m^2 e per una temperatura di mandata dell'acqua di $35\text{ }^\circ\text{C}$, una potenza di rendimento di 400 W (ossia 40 W/m^2) [26]. Per verificare l'efficacia del sistema scelto, occorre innanzitutto prendere in considerazione le superfici di pavimento dei locali da riscaldare.

Locale	Area di pavimento [m^2]
piano terra (ex stalla)	35,5
soggiorno e cucina	36,2
WC	7,3

Dopodiché, è sufficiente moltiplicare l'area di pavimento di ciascun locale da riscaldare per 40 W/m^2 e verificare che il valore ottenuto sia maggiore della potenza dispersa dai singoli locali.

Locale	Area * 40 W/m^2	Potenza dispersa [W]	Verifica
piano terra (ex stalla)	1420	1374	SI
soggiorno e cucina	1448	896	SI
WC	292	374	NO

Nel bagno del primo piano la potenza termica trasmessa dai pannelli radianti non copre il fabbisogno del locale. Per questo motivo, è necessario impiegare un altro sistema di riscaldamento, ad esempio un pannello radiante elettrico da installare a parete.

Per quanto riguarda la potenza necessaria per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria, i calcoli da effettuare fanno riferimento ad un sistema composto dalla pompa di calore e un serbatoio di accumulo, in modo da evitare frequenti accensioni e spegnimenti del compressore in corrispondenza dei picchi di utilizzo. Il dimensionamento della potenza della pompa di calore e del volume di accumulo dell'acqua sono inversamente proporzionali poiché, più la macchina è in grado di soddisfare il fabbisogno istantaneo, minore è il volume necessario per l'accumulo.

Per determinare il volume del serbatoio, si utilizza la seguente formula:

$$V = \frac{C \cdot (T_u - T_f)}{t_p + t_r} \cdot \frac{t_r}{T_a - T_f} \quad [1]$$

dove:

C è il consumo di acqua calda nel periodo di punta [1], ossia 340 l per edifici residenziali con due servizi,

T_u è la temperatura di utilizzo dell'acqua calda (40 °C),

T_f è la temperatura dell'acqua fredda dell'acquedotto, pari alla media annuale delle temperature medie mensili dell'aria esterna della località considerata (5°C)

t_p è la durata del periodo di punta (1,5 h),

t_r è la durata del periodo di preriscaldamento (2 h) e

T_a è la temperatura di accumulo dell'acqua calda (60 °C).

Utilizzando i dati forniti da Caleffi [36], si ottiene un volume del serbatoio di accumulo per l'acqua calda sanitaria pari a 123,6 litri, arrotondato a 125 litri.

Per determinare la potenza della pompa di calore per la sola produzione di acqua calda sanitaria, la formula di calcolo è la seguente:

$$P = C \cdot t_p \cdot \frac{T_u - T_f}{t_p + t_r} \quad [\text{W}]$$

Da cui si ottiene una potenza pari a 5,1 kW. Sommando le potenze necessarie per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria, la potenza totale richiesta alla pompa di calore è di 8 kW.

6.4.5 Solare termico

Fonti: nn. [38]–[41] e in bibliografia.

I sistemi di riscaldamento con pannelli radianti a bassa temperatura si prestano bene all'integrazione con un sistema solare termico. L'energia termica prodotta può essere utilizzata sia per il riscaldamento sia per la produzione di acqua calda sanitaria. Le componenti del sistema sono i collettori solari,

6. Progetto

il serbatoio di accumulo e un circuito di distribuzione, oltre alla centralina di controllo.

I collettori solari possono essere piani o sottovuoto. In entrambi i casi, all'interno è presente un circuito contenente acqua (ed eventuali additivi) che funge da termoconvettore. I pannelli piani possono essere in materiale plastico o vetrati. Sono dotati di uno strato isolante al di sotto del fascio tubiero per limitare la dispersione del calore, un assorbitore metallico per aumentare l'efficienza e uno strato superficiale di vetro temperato ad elevata trasmissione. I pannelli sottovuoto sono costituiti da tubi in vetro a due strati (al fine di creare un'intercapedine per diminuire la dispersione del calore) in cui si trova il circuito idraulico. Per aumentare l'assorbimento di calore, al di sotto dei tubi è presente uno specchio ad alta riflessione a profili parabolici e uno strato selettivo di assorbimento che ricopre il tubo interno in vetro. Questo tipo di collettori è più costoso, ma è anche in grado di mantenere la propria efficienza in presenza di scarsa radiazione solare e sono adatti per la produzione di acqua calda ad alte temperature.

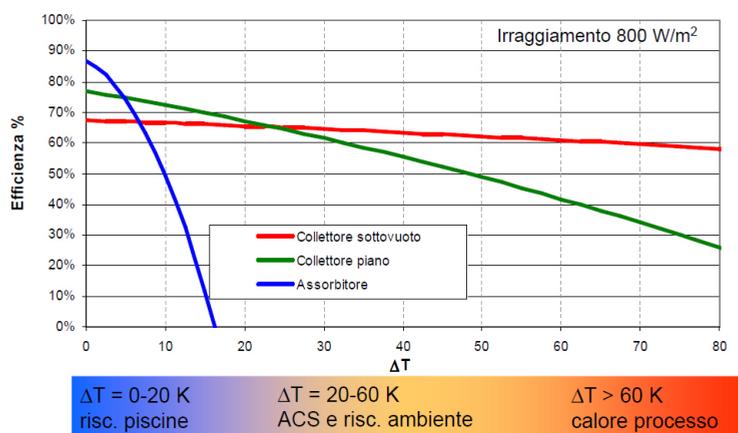
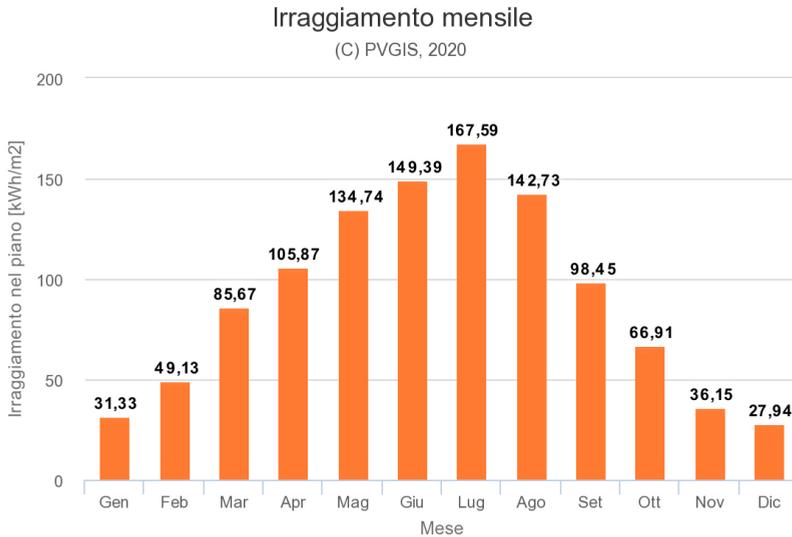


Grafico delle curve di efficienza dei diversi tipi di collettore solare in relazione alla differenza tra la temperatura del pannello e la temperatura dell'ambiente esterno

Il serbatoio di accumulo può essere posizionato adiacente ai collettori (in un impianto a circolazione naturale) o all'interno dell'edificio (impianto a circolazione forzata). Al suo interno, il fluido termoconvettore trasferisce il calore all'acqua da utilizzare. In questo progetto si sceglie di installare collettori sottovuoto, data la maggiore resa in presenza di scarso irraggiamento solare, collegati a un serbatoio di accumulo collocato nel locale tecnico.

Il dimensionamento dell'impianto solare termico tiene conto di molteplici fattori. L'efficacia del sistema dipende dalla località e dal posizionamento dei collettori, oltre alla quantità di energia solare che può essere assorbita. Solitamente l'installazione avviene sulla copertura dell'edificio, quindi l'inclinazione delle falde e la presenza di ostruzioni esterne influenzano la resa dell'impianto. Per il dimensionamento, sono stati presi in considerazione gli stessi valori di

inclinazione e orientamento utilizzati nel calcolo per il fotovoltaico, oltre ai valori di irraggiamento solare medio mensile ottenuti dalla simulazione effettuata con PVGIS.



Inoltre, dal momento che la potenza richiesta alla pompa di calore per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria è maggiore rispetto a quella per il riscaldamento, il dimensionamento viene effettuato facendo riferimento al fabbisogno di acqua calda sanitaria. Per calcolare quest'ultimo, si utilizza la seguente formula:

$$Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot V \cdot (T_u - T_f) \cdot GG \quad [\text{kWh}]$$

dove:

ρ_w è la massa volumica dell'acqua (1000 kg/m^3),

c_w è il calore specifico dell'acqua ($1,162 \times 10^{-3} \text{ Wh/(kg K)}$),

V è il volume di acqua calda sanitaria giornaliero, stimato a 300 litri (50 litri a persona per garantire un comfort medio), ossia $0,3 \text{ m}^3$,

T_u è la temperatura di utilizzo dell'acqua (40 °C) e

GG è il numero di giorni del periodo considerato.

Prendendo come esempio agosto, mese in cui è prevista una permanenza di 31 giorni, il fabbisogno di acqua calda sanitaria risulta pari a $378,23 \text{ kWh}$, mentre l'irraggiamento è di $142,73 \text{ kWh/m}^2$.

6. Progetto

La superficie dei collettori necessaria è data dal rapporto tra il fabbisogno e l'irraggiamento:

$$378,23/142,73 = 2,65 \text{ m}^2$$

Dal momento però che l'efficienza dei collettori solari sottovuoto di alta qualità non supera il 68%, è necessario dividere il valore ottenuto per l'efficienza. Quindi la superficie di pannelli necessaria diventa:

$$2,65/0,68 = 3,9 \text{ m}^2$$

I collettori in commercio vengono prodotti con determinate dimensioni e, a titolo di esempio, vengono considerati i pannelli Aqua Plasma di Paradigma Italia [40]. Per raggiungere la superficie necessaria, si possono installare 2 collettori da $2,4 \text{ m}^2$ oppure un singolo collettore da $4,5 \text{ m}^2$. Dal momento che la differenza di superficie è esigua e il prezzo di 2 collettori è circa 1,5 volte quello del singolo collettore, si decide di adottare la seconda soluzione.

I valori di irraggiamento nei mesi di giugno e luglio sono maggiori rispetto ad agosto, quindi il fabbisogno negli altri mesi estivi può considerarsi soddisfatto.

Per verificare la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria nei mesi invernali con questa superficie, si prende come esempio dicembre, quando è prevista una permanenza di 15 giorni. Qui il fabbisogno diminuisce a 183 kW h , mentre il valore d'irraggiamento mensile ($27,94 \text{ kW h/m}^2$) è il minore nell'arco dell'anno. L'energia prodotta dal solare termico è:

$$4,5 \cdot (27,94/31 \cdot 15 \text{ giorni}) \cdot 0,68 = 41,37 \text{ kW h}$$

Ossia il 22,61% del fabbisogno di acqua calda sanitaria nel mese di dicembre.

Esiste un altro metodo di dimensionamento, più empirico, che tiene conto di alcuni valori prestabiliti a prescindere dall'irraggiamento locale. In una situazione con condizioni di esposizione e inclinazione ideali (Sud, 30°), la superficie di collettori necessaria a soddisfare il fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria (50 litri/persona) nel Nord Italia è pari a $3,9 \text{ m}^2$. Nel caso in cui vengano utilizzati collettori sottovuoto, questo valore può essere ridotto del 20% (ossia $0,96 \text{ m}^2$, arrotondato a 1 m^2). Il fabbisogno giornaliero di progetto è pari a 300 litri, quindi l'area netta dei pannelli diventa 6 m^2 . Questa deve inoltre essere divisa per un fattore di correzione determinato dall'esposizione e dall'angolo di inclinazione dei pannelli. Con orientamento a Est e un'inclinazione di 27° , il fattore è pari a 0,87. Dividendo la superficie dei pannelli per questo valore, si ottiene un risultato di $6,9 \text{ m}^2$.

In questo scenario, il solare termico sarebbe in grado di coprire il 34,66% del fabbisogno di acqua calda sanitaria a dicembre (ossia ulteriori $2,4 \text{ m}^2$ di pannelli soddisfano circa il 12% in più di fabbisogno), ma produrrebbe 1,8 volte l'energia necessaria ad agosto. Nel periodo estivo, se non viene sottratto calore ai collettori e l'acqua contenuta nel serbatoio supera i 90°C , la pompa del sistema si arresta e il fluido termoconvettore non viene fatto circolare. Il sovradimensionamento dell'impianto permetterebbe di avere alti gradi di copertura del fabbisogno

nel corso dell'anno ma bassi coefficienti di utilizzo poiché, al fine di soddisfare le esigenze dei mesi invernali, si verificherebbero situazioni di stagnazione nel periodo estivo. Inoltre, questa situazione allungherebbe i tempi di ammortamento del sistema. Perciò si sceglie di utilizzare la superficie dimensionata con il primo metodo e di impiegare la pompa calore per il riscaldamento e la produzione della restante quota di acqua calda sanitaria.

Nel serbatoio di accumulo avviene lo scambio di calore tra il fluido termovettore e l'acqua che verrà utilizzata nell'edificio. Per il suo dimensionamento, la letteratura consiglia di prevedere da 50 (per collettori piani) a 100 litri (per collettori sottovuoto) per ogni metro quadrato di superficie netta dei pannelli.

6.4.6 Stufa a pellet

Per provvedere al riscaldamento dei locali all'interno della scatola lignea, viene installata una stufa a pellet accanto alla canna fumaria esistente al secondo piano, nella quale viene praticato un foro per l'inserimento di un nuovo tubo.

La scelta di impiegare una stufa a pellet e non a legna è dettata da diverse considerazioni sulla sua sostenibilità. In primo luogo, il pellet è prodotto a partire sia da legno vergine sia da scarti della lavorazione del legno. A parità di volume, questo tipo di combustibile ha un potere calorifero doppio rispetto a quello del legno. Inoltre, la combustione del pellet produce meno residui in confronto alla legna da ardere, contribuendo all'abbassamento delle emissioni di particolati in atmosfera. L'unico aspetto in contrasto con l'ecocompatibilità di questo combustibile è il fatto che una stufa a pellet necessita di energia elettrica per funzionare, tuttavia la possibilità di programmare gli orari di accensione e di regolare la temperatura erogata rappresenta un vantaggio non trascurabile. [42]

La potenza necessaria per compensare le dispersioni termiche del secondo piano e del sottotetto è pari a 3,9 kW, quindi una stufa da 6 kW è in grado di soddisfare il fabbisogno della famiglia. I sacchi di pellet possono essere immagazzinati all'interno del locale tecnico al piano terra.

6.5 Materiali scelti

La scelta di eseguire tecniche di lavorazione a secco è dettata dalla reversibilità di questo tipo di interventi, dal risparmio di tempo e di denaro che esse offrono rispetto alle tecniche tradizionali. Inoltre, i materiali scelti per il progetto sono prodotti con lavorazioni a basso impatto ambientale e che spesso fanno uso di componenti riciclate o di scarti provenienti da altre lavorazioni.

Ghiaia di vetro cellulare [24]

Viene prodotta a partire da vetro riciclato. La struttura a cellule chiuse offre un'elevata resistenza termica e impedisce l'accumulo di acqua e vapore, proteggendo così il solaio e lateralmente la muratura dalla risalita capillare dell'umidità dal terreno. Inoltre il vetro cellulare resiste ad attacchi chimici e non può essere aggredito da muffe e insetti.

6. Progetto

Scaglie di legno mineralizzato [25]

Sono il risultato del rivestimento di trucioli di legno con magnesite o cemento, come protezione dall'attacco di parassiti e funghi. Dopo la posa degli impianti a pavimento, questo materiale svolge la funzione di riempimento del sottofondo a secco. Oltre ad essere più leggero, più ecosostenibile e più veloce da posare rispetto a un massetto in cemento, il legno mineralizzato è fonoassorbente (utile per il solaio interpiano) e termoisolante (come contributo all'isolamento nel solaio controterra).

Pannello isolante in fibra di legno [22]

Impiegato come supporto dei pannelli radianti a pavimento e per limitare le dispersioni di calore verso gli strati sottostanti. Nonostante la leggerezza e lo spessore ridotto, questo pannello è dotato di un'elevata resistenza meccanica e riduce notevolmente la trasmissione del rumore (utile per il solaio interpiano).

Pannello radiante in fibra di legno [26]

Sagomato per il passaggio dei tubi del riscaldamento a bassa temperatura. Lungo il perimetro dei locali viene stesa una membrana di dilatazione per assorbire le variazioni di dimensione dei pannelli dovute al calore. All'interno delle scanalature vengono posate lamine di acciaio, in modo da trasmettere il calore più facilmente. La posa avviene direttamente sotto il pavimento ed evita i tempi di asciugatura di un massetto radiante in cemento, inoltre permette di limitare lo spessore del solaio (fondamentale nel caso del solaio interpiano) e di raggiungere la temperatura interna di comfort più rapidamente.

Pannello isolante in fibra di canapa [22]

Pannello isolante termoacustico impiegato per la coibentazione delle pareti (spessore 3, 8 e 10 cm) e della copertura (doppio strato da 8+5 cm), composto da fibre di canapa termofissate con amido di mais. Si tratta di un materiale altamente traspirante, resistente all'umidità e alla formazione di muffe, che contribuisce al naturale passaggio del vapore nelle strutture. Grazie all'assenza di sostanze proteiche e al sapore amaro delle fibre di canapa, è naturalmente inattaccabile da parte di insetti e roditori. Per la posa necessita di una sottostruttura a telaio.

Lastra di terra cruda [22]

Composta da argilla pressata a rinforzata con fibre di legno e rete di juta. È impiegata come tamponamento per le pareti interne e per il cappotto termico interno. È un materiale igroscopico e traspirante, quindi evita la formazione di muffa e partecipa alla naturale regolazione dell'umidità interna. Il fissaggio alla sottostruttura in legno avviene tramite viti o punti metallici a graffa. Sulla lastra possono essere fissati oggetti leggeri, quali quadri, lampade e mensole.

Intonaco termico [23]

È una miscela di calce idraulica, argilla e polveri diatomeiche, fibrorinforzata con sughero per offrire ottime caratteristiche di isolamento termico. Grazie

all'alto valore di traspirabilità, previene la formazione di muffa e condensa, assorbendo e rilasciando l'umidità in eccesso per garantire comfort nell'ambiente interno.

Intonaco di terra cruda [22]

Composto da argilla, inerti minerali (sabbia) e fibre vegetali (solitamente paglia). È ecosostenibile in quanto non necessita di cottura in fase di produzione. Inoltre funge da naturale regolatore dell'umidità interna. È traspirante e evita la formazione di muffa sulla superficie delle pareti. Assorbe e neutralizza le sostanze nocive e gli odori sgradevoli. È sufficiente applicare un strato di pochi centimetri sulle lastre di tamponamento.

Geotessuto [23]

È formato da fibre sintetiche e svolge la funzione di filtro separatore tra strati diversi (come nel nuovo vespaio del piano terra). Nello strato di drenaggio attorno ai muri perimetrali, esso è impiegato come protezione delle membrane impermeabili dai danni che un'infiltrazione di terriccio potrebbe provocare.

Freno al vapore igrovariabile [23]

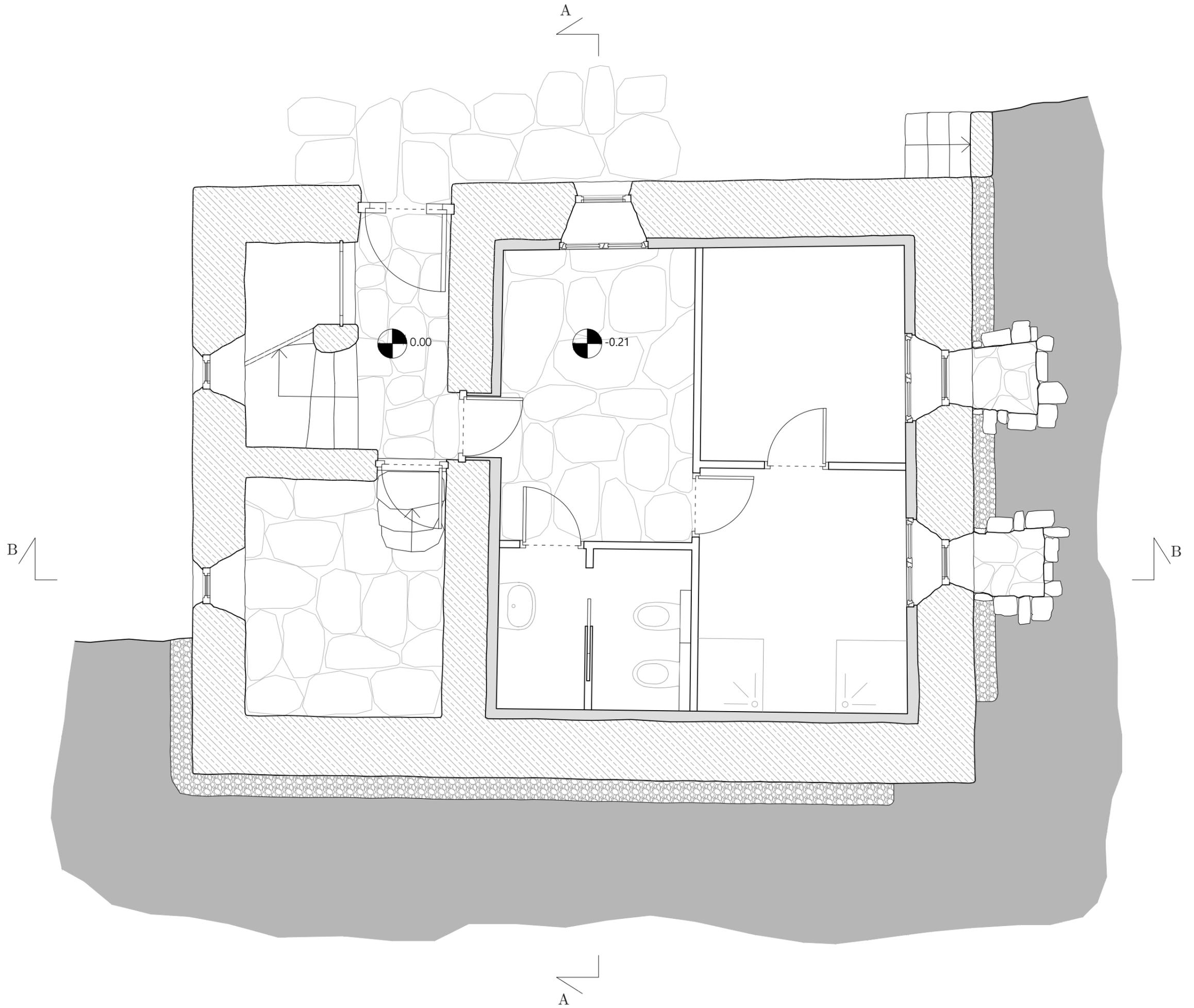
Membrana in cellulosa naturale riciclata con armatura in fibra di vetro, con funzione anche di barriera all'aria. È posata sul lato interno dei materiali coibenti, sia nel cappotto termico sia nella copertura. Nel periodo invernale essa frena il passaggio del vapore verso l'esterno ($S_d=4$ m), limitando la formazione di condensa interstiziale. Nel periodo estivo, invece, permette la diffusione del vapore nell'ambiente interno ($S_d=0,2$ m).

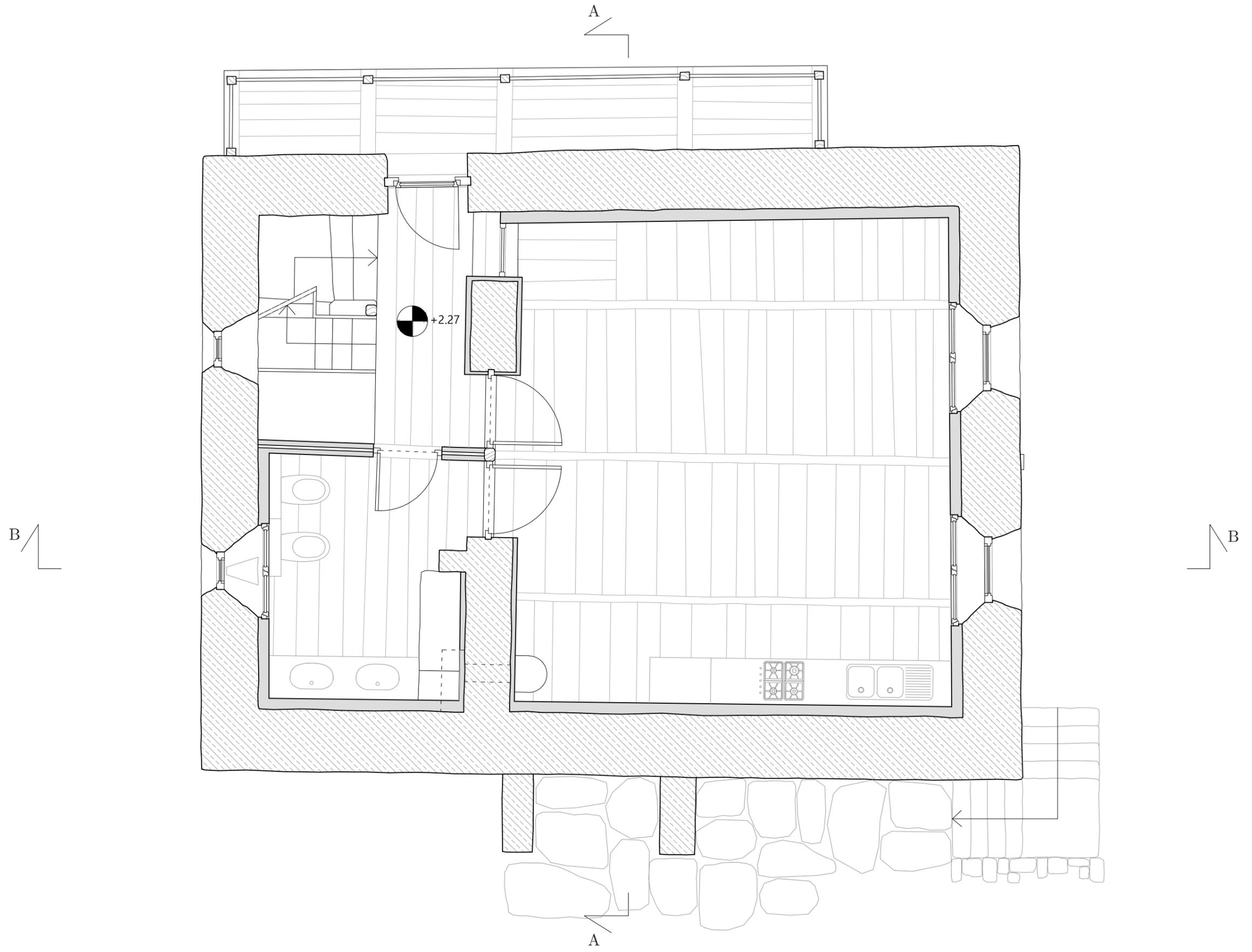
Membrana impermeabile [22]

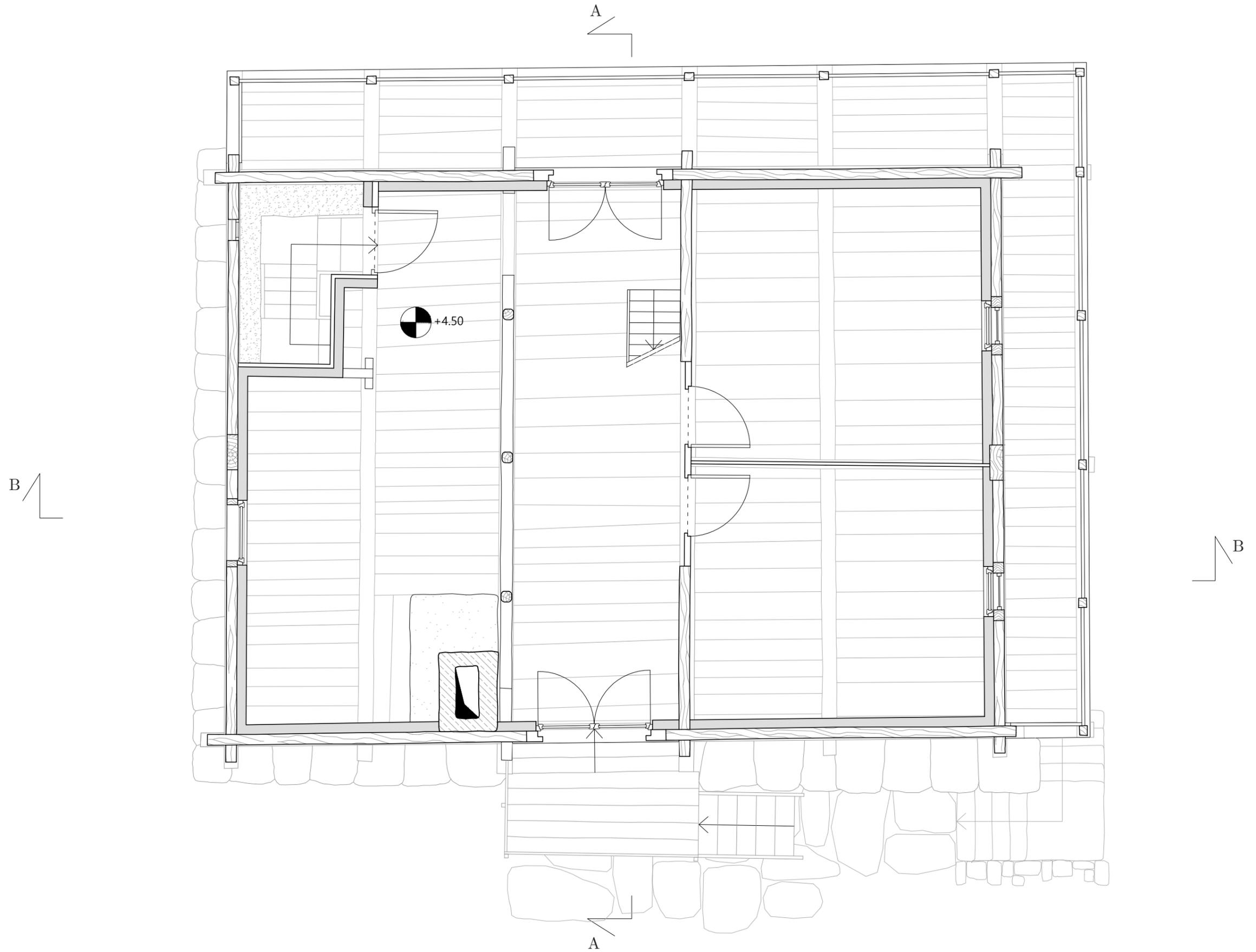
Membrana impermeabile in polipropilene altamente traspirante. È impiegata nella copertura, al di sotto del manto, come protezione degli strati sottostanti da eventuali infiltrazioni, ma può anche essere utilizzata come protezione delle pareti da pioggia e vento, pur permettendo il passaggio del vapore.

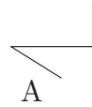
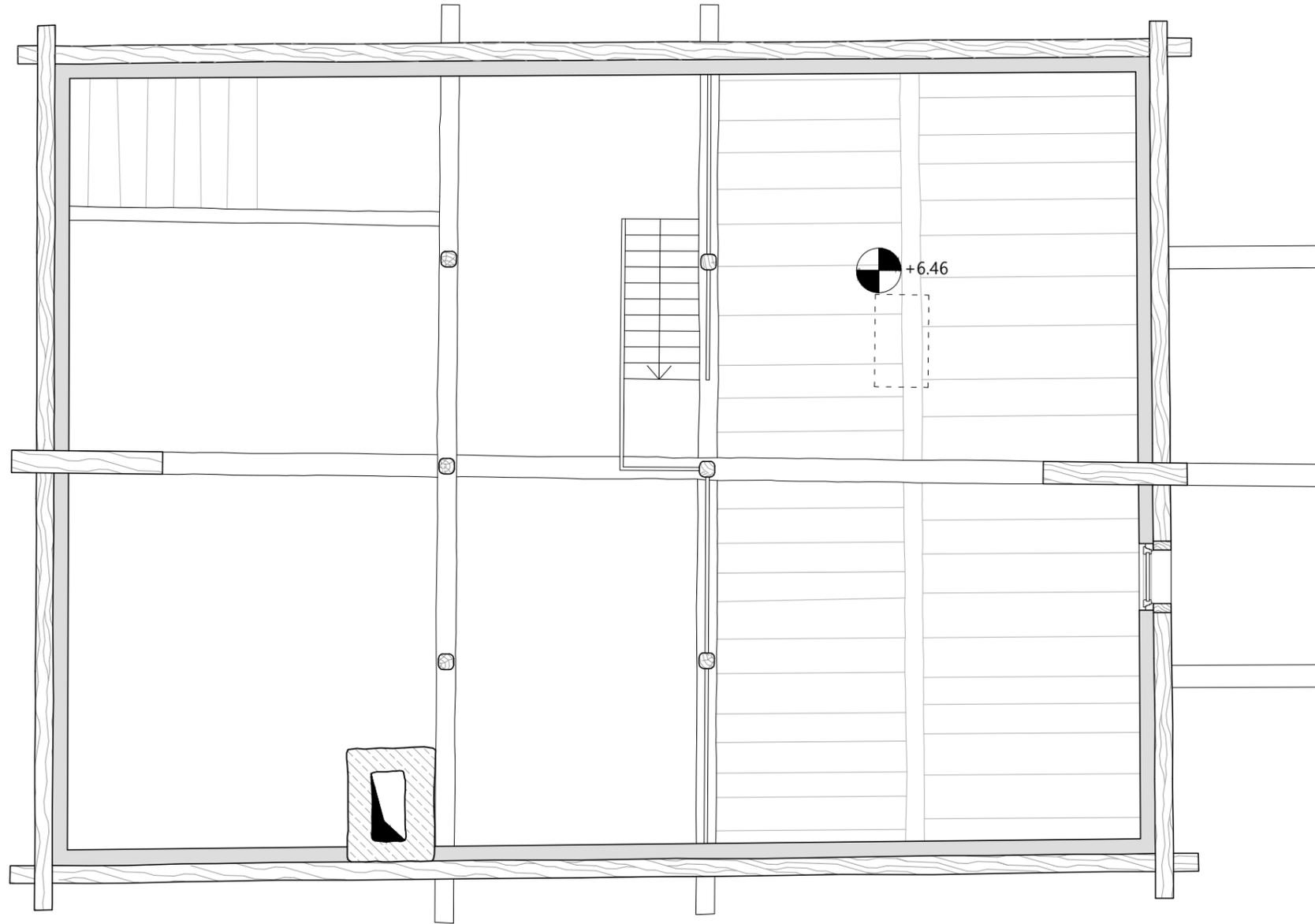
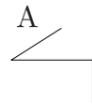
Guaina traspirante antivento [22]

Carta kraft prodotta a partire da carta riciclata. È una barriera all'aria traspirante ($S_d<0,1$) e molto resistente allo strappo, applicata sul lato esterno dell'isolante del cappotto termico nella scatola lignea, per evitare l'eventuale formazione di correnti d'aria dovuta alla presenza di piccoli interstizi tra i tronchi.



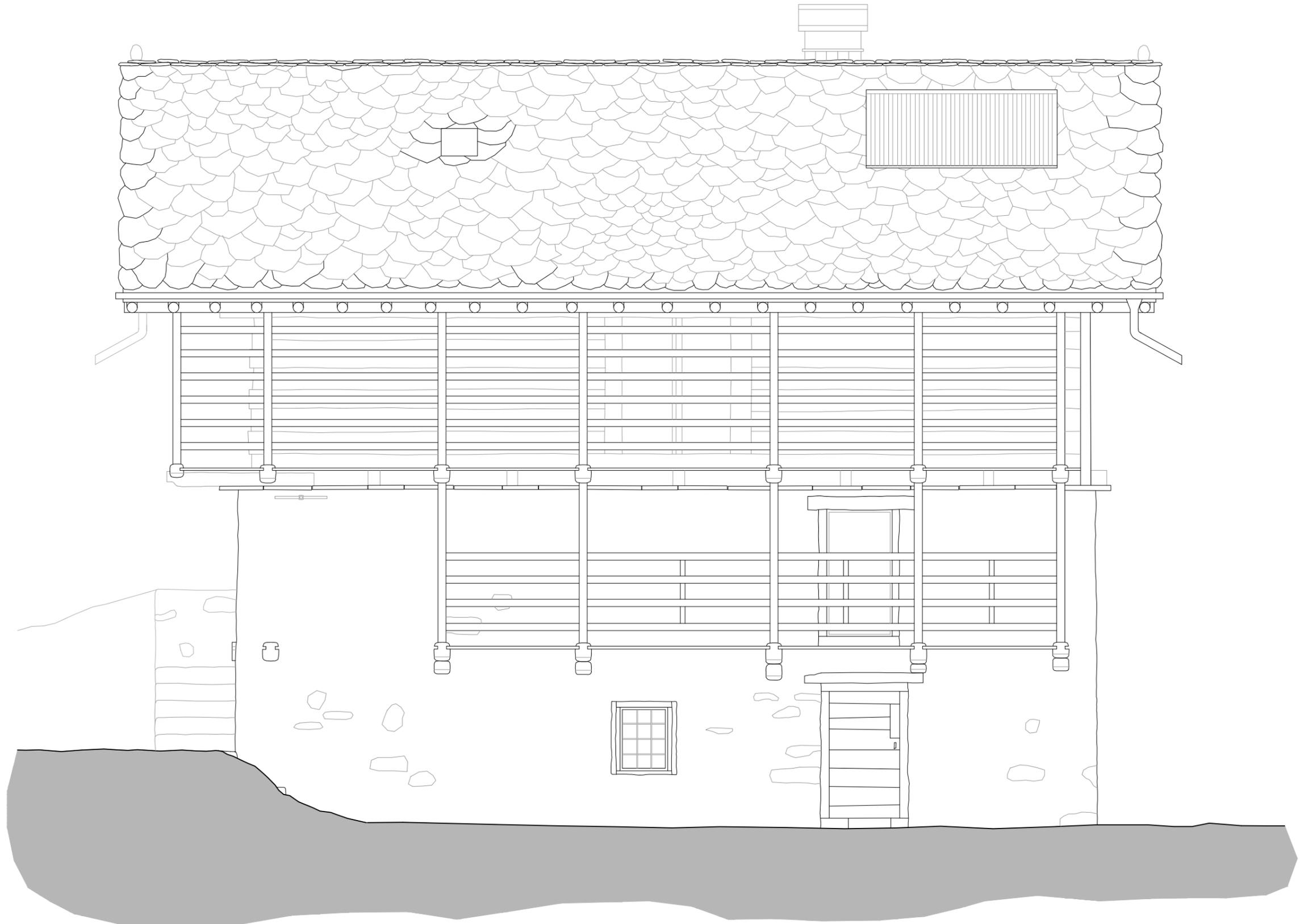


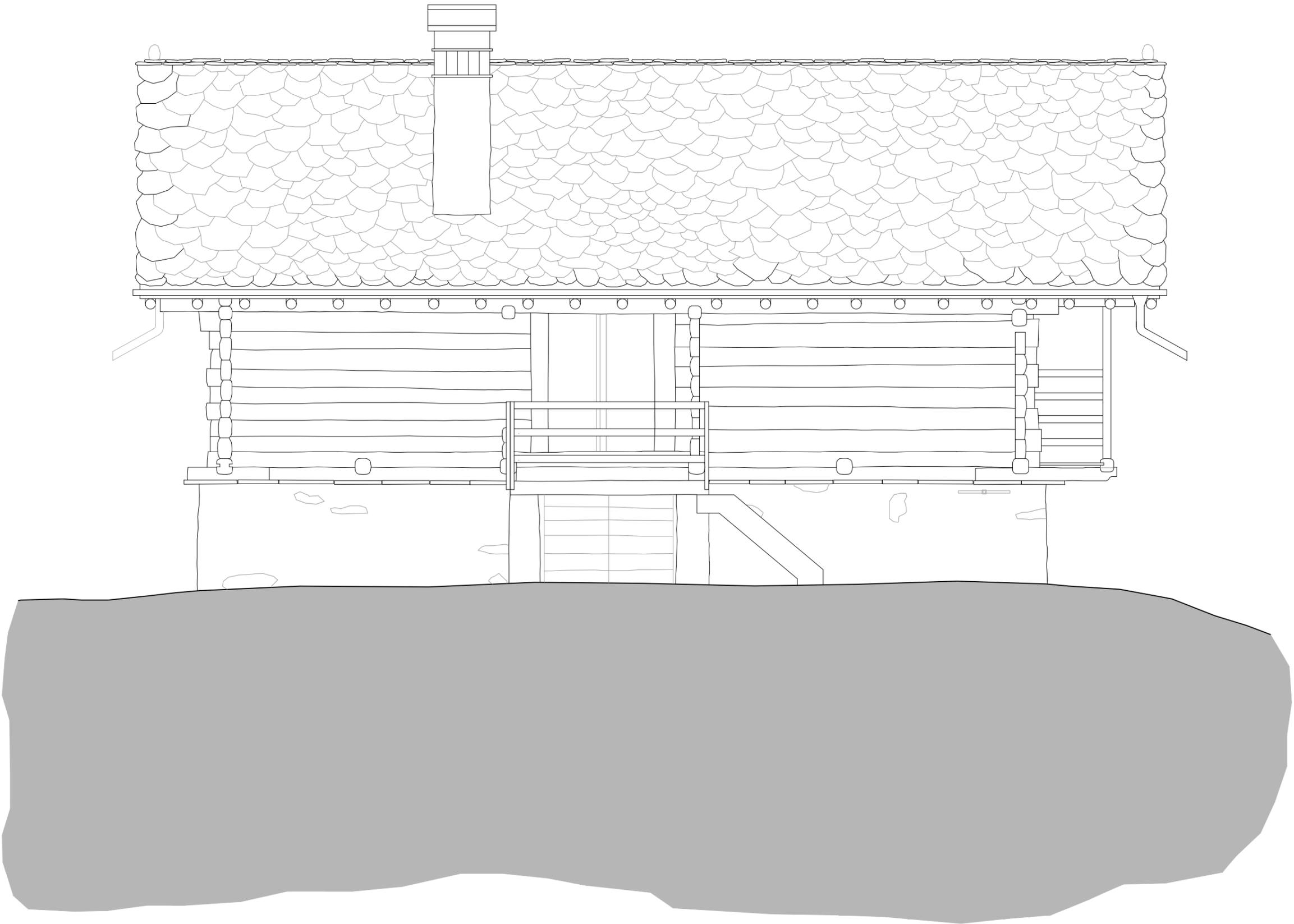


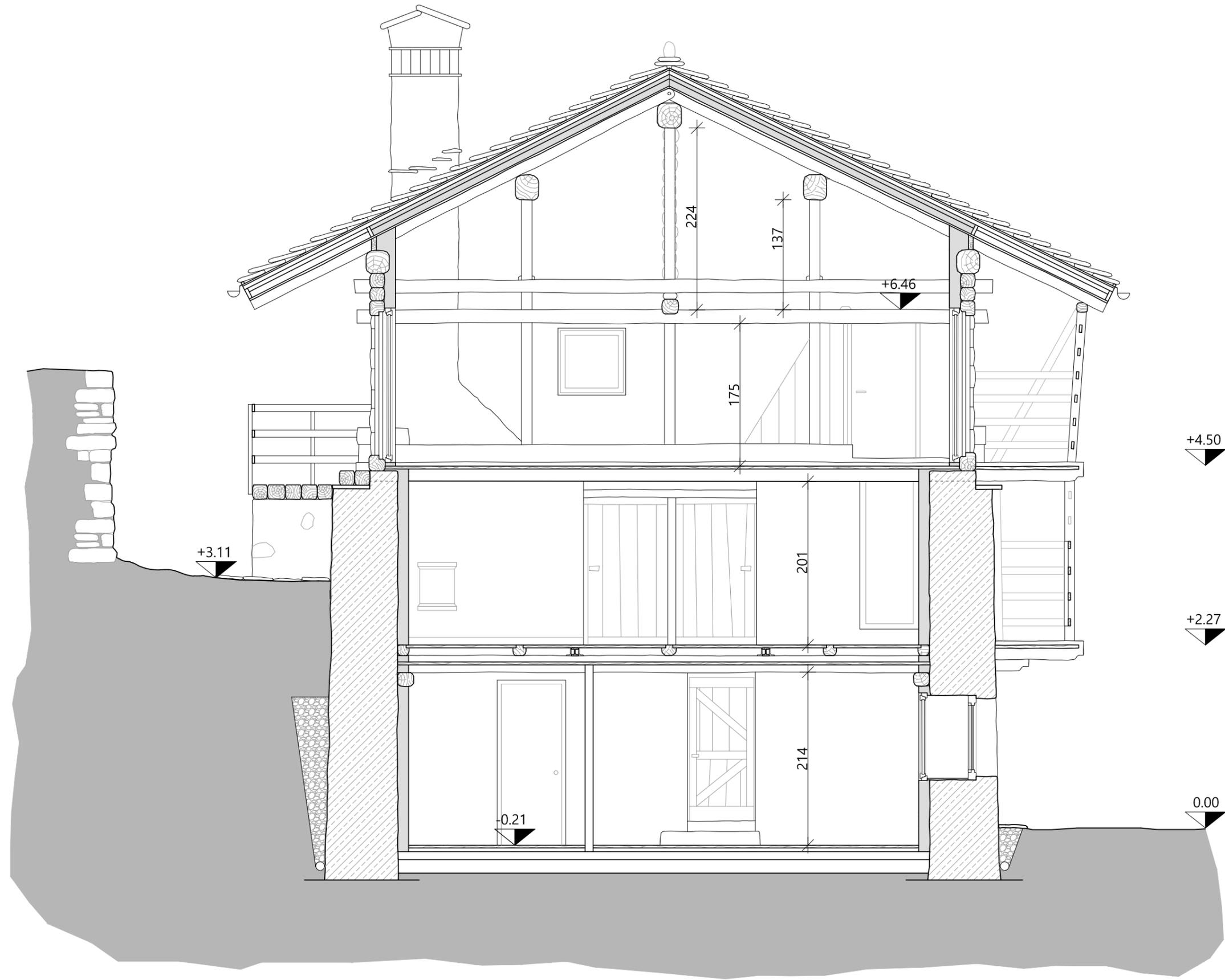


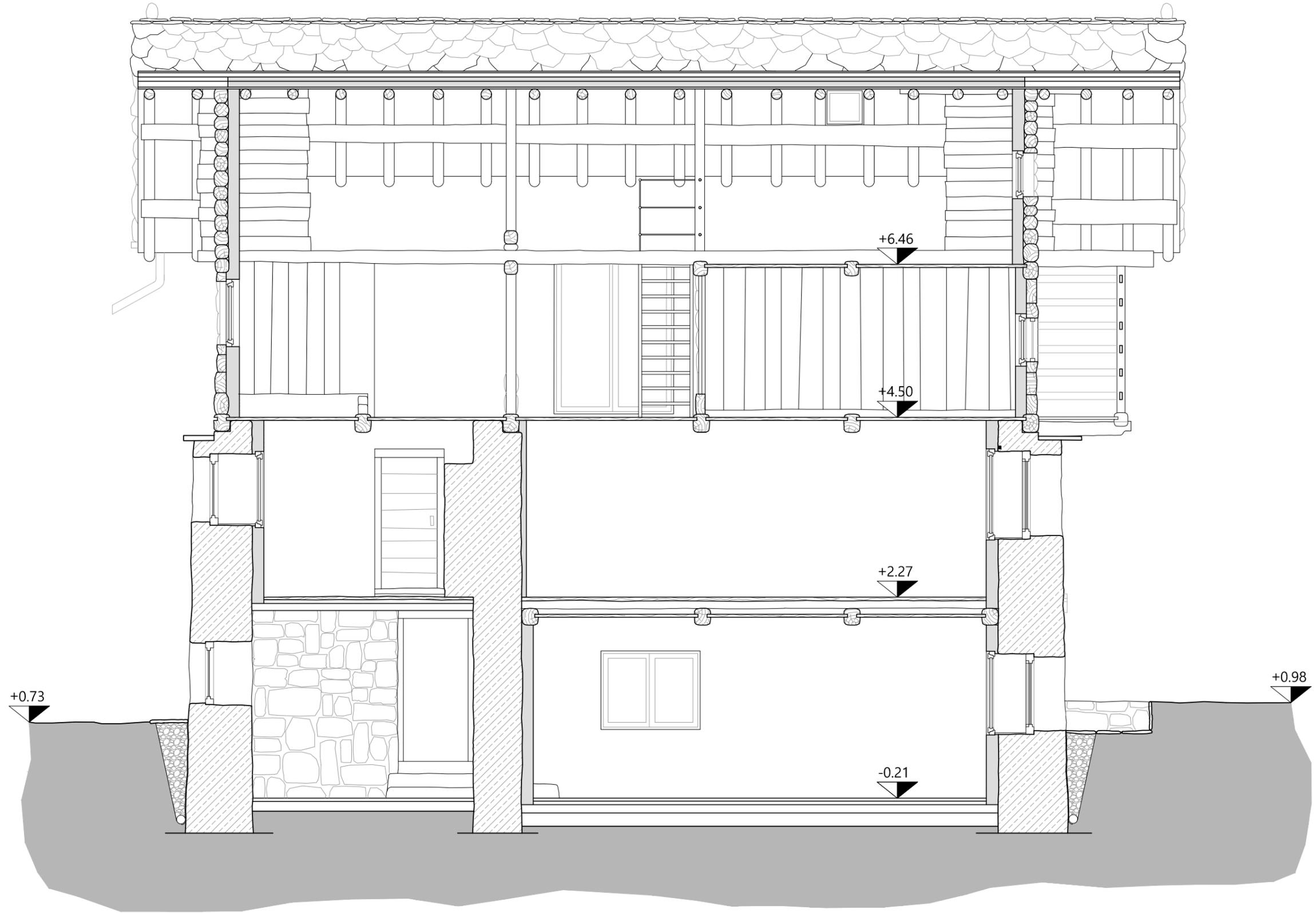


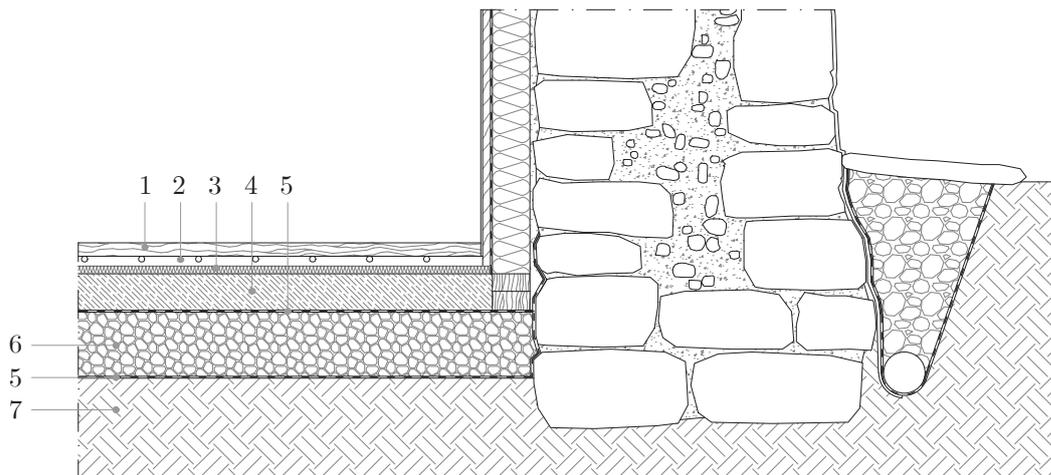












		d [cm]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
1	Tavole di larice recuperate	3,5	0,130	2100	500	50
2	Pannello radiante in fibra di legno	2,2	0,046	2100	230	5
3	Pannello isolante in fibra di legno	2	0,038	2100	135	5
4	Sottofondo in legno mineralizzato	10	0,075	1800	360	5
5	Geotessuto	-	-	-	-	-
6	Ghiaia di vetro cellulare	17	0,082	850	150	∞
7	Terreno	-	2	2000	-	-

Spessore	34,7	[cm]
Resistenza termica	4,999	[m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,200*	[W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,021	[W/m ² K]

Limite trasmittanza = 0,28 W/m²K*
verificato

Verifica condensa:

superficiale interstiziale

d = spessore

λ = conducibilità termica

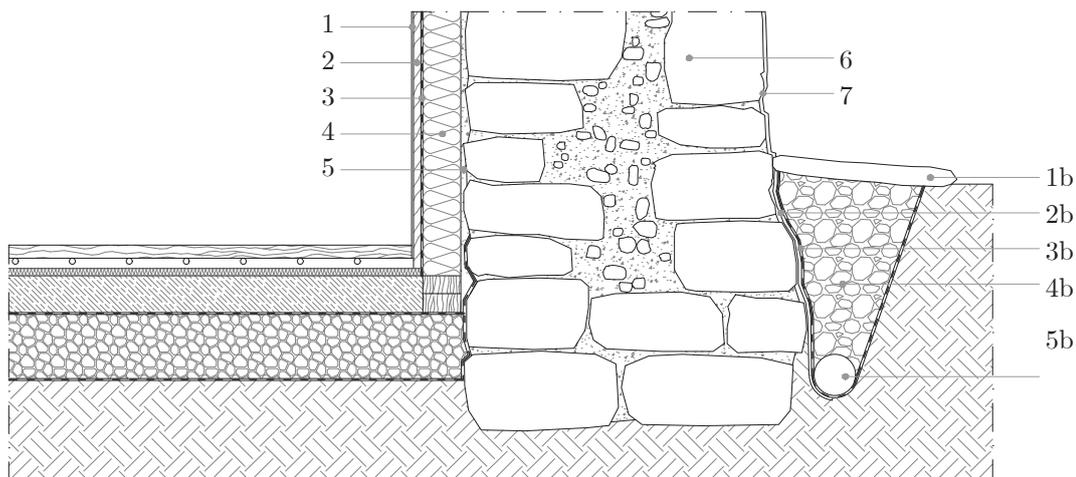
Cp = calore specifico

ρ = densità

μ = permeabilità al vapore

* valore ottenuto dall'incremento del 30% del limite della trasmittanza termica poiché l'isolamento termico si trova all'interno dell'involucro edilizio (da Dgr 272/2016, punto 11.3, lettera E)

** il valore della trasmittanza termica deve essere corretto tenendo conto del contatto con il terreno, secondo la UNI ES 13370 ("Trasferimento di calore attraverso il terreno") -> 0,148 W/m²K



		d [cm]	λ [W/mK]	C_p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
1	Intonaco di terra cruda	0,5	1,100	1000	2000	7,5
2	Lastra in terra cruda e fibra di legno	2,2	0,353	1100	1450	7,5
3	Freno al vapore	-	-	-	-	Sd=0,2/4 m
4	Pannello isolante in fibra di canapa	10	0,040	2300	40	1,5
5	Intonaco termico	~ 1,5	0,045	1000	360	4
6	Muratura in pietra	~ 80	2,300	1000	2600	250
7	Intonaco di calce	~ 1,5	0,800	1000	1600	10

Spessore	95,7	[cm]
Resistenza termica	3,476	[m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,288	[W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,002	[W/m ² K]

Limite trasmittanza = 0,34 W/m²K*
verificato

Verifica condensa:

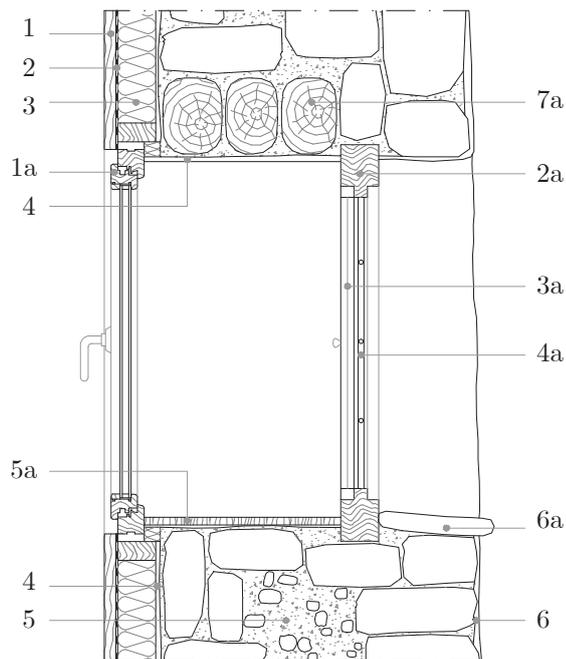
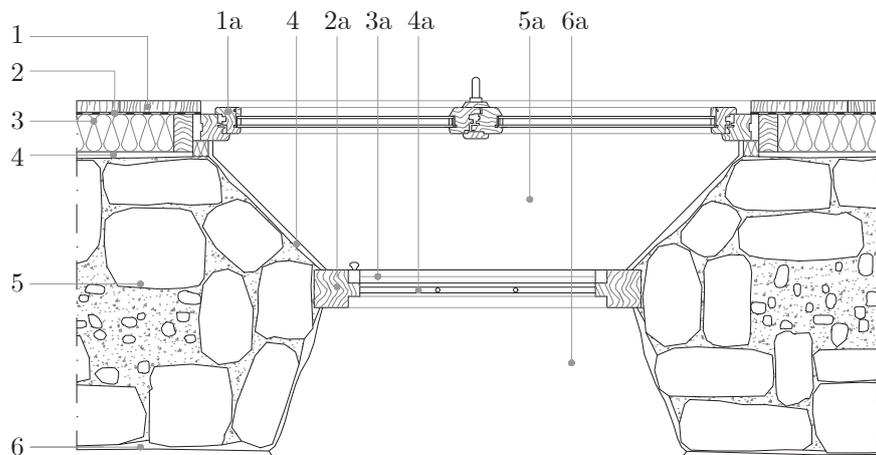
superficiale interstiziale

si verificano fenomeni di condensa interstiziale da ottobre a marzo, ma essa evapora completamente da aprile a luglio**

1b	Losa
2b	Membrana impermeabile
3b	Geotessuto
4b	Ghiaia
5b	Tubo di drenaggio Ø 12 cm

* valore ottenuto dall'incremento del 30% del limite della trasmittanza termica poiché l'isolamento termico si trova all'interno dell'involucro edilizio (da Dgr 272/2016, punto 11.3, lettera E)

** la FAQ n. 3.11 del 18/12/18 sul DM 26/06/15 afferma che "la condensazione interstiziale possa considerarsi assente quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile (500 g/m²) e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale."



Nuovo infisso

- trasmittanza termica telaio = 1,2 W/m²K

- trasmittanza termica vetro = 1,1 W/m²K

		d [cm]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
1	Tavole di larice recuperate	3,5	0,130	1600	500	50
2	Freno al vapore	-	-	-	-	Sd=0,2/4 m
3	Pannello isolante in fibra di canapa	10	0,040	2300	40	1,5
4	Intonaco termico	~ 1,5	0,045	1000	360	4
5	Muratura in pietra	~ 80	2,300	1000	2600	250
6	Intonaco di calce	~ 1,5	0,800	1000	1600	10

Spessore	96,5	[cm]
Resistenza termica	3,666	[m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,273	[W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,002	[W/m ² K]

Limite trasmittanza = 0,34 W/m²K*

verificato

Verifica condensa:

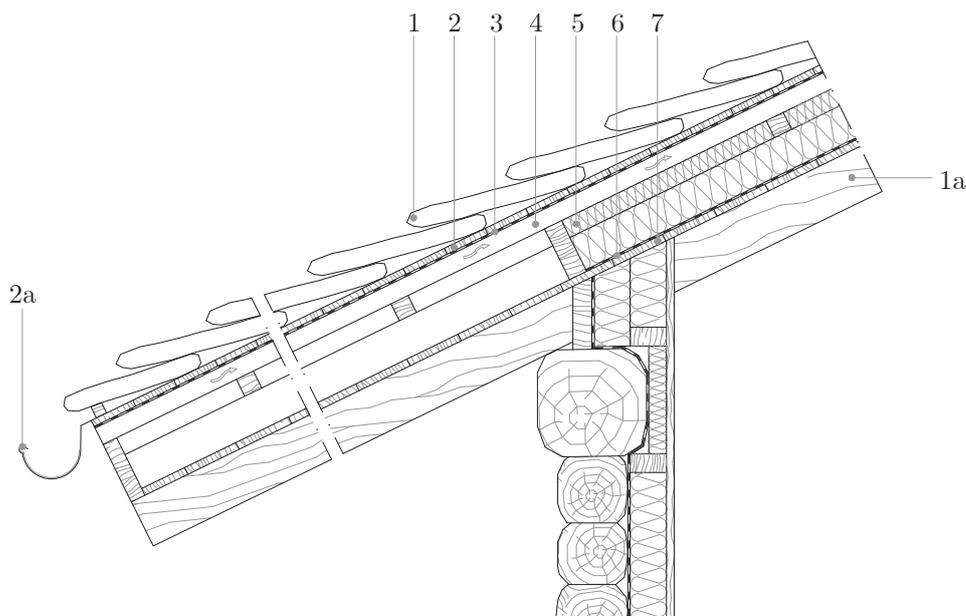
superficiale interstiziale

si verificano fenomeni di condensa interstiziale da novembre a febbraio, ma essa evapora completamente da marzo a giugno**

1a	Nuovo infisso in legno		
2a	Telaio fisso	5a	Davanzale in legno
3a	Anta con vetro singolo	6a	Davanzale in pietra
4a	Inferriata	7a	Architravi in legno

* valore ottenuto dall'incremento del 30% del limite della trasmittanza termica poiché l'isolamento termico si trova all'interno dell'involucro edilizio (da Dgr 272/2016, punto 11.3, lettera E)

** la FAQ n. 3.11 del 18/12/18 sul DM 26/06/15 afferma che "la condensazione interstiziale possa considerarsi assente quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile (500 g/m²) e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale."



		d [cm]	λ [W/mK]	C_p [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
1	Manto in lose	3	2,200	1000	2000	1000
2	Tavolato	2	0,130	1600	500	50
3	Membrana impermeabile	-	-	-	-	63
4	Intercapedine di ventilazione	4	-	1000	-	-
5	Pannelli isolanti in fibra di legno	5+8	0,040	2300	40	1,5
6	Freno al vapore	-	-	-	-	Sd=0,2/4 m
7	Tavolato	2	0,130	1600	500	50

Spessore	24	[cm]
Resistenza termica	3,945	[m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,253	[W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,236	[W/m ² K]

Limite trasmittanza = 0,29 W/m²K*
verificato

Verifica condensa:

superficiale

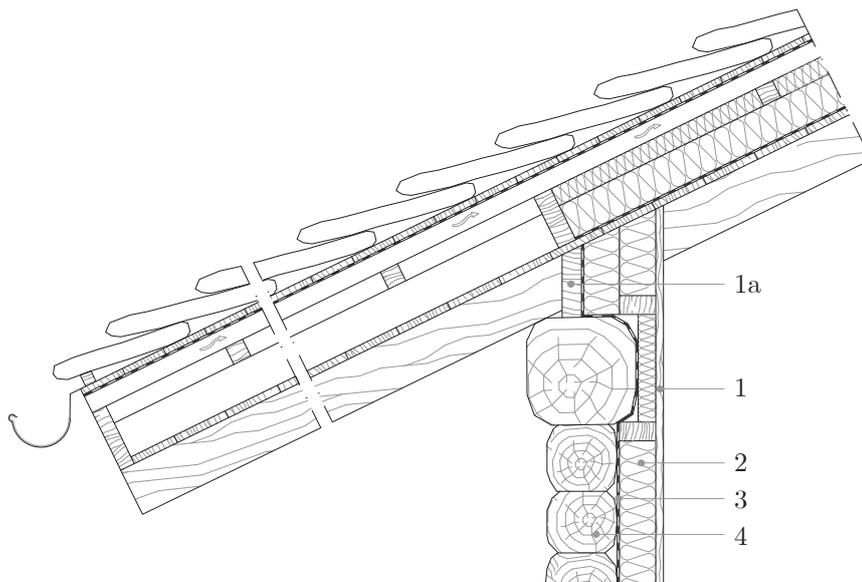
interstiziale

si verificano fenomeni di condensa interstiziale da ottobre a marzo, ma essa evapora completamente da aprile a luglio**

1a	Puntone
2a	Canale di gronda

* valore ottenuto dall'incremento del 30% del limite della trasmittanza termica poiché l'isolamento termico si trova all'interno dell'involucro edilizio (da Dgr 272/2016, punto 11.3, lettera E)

** la FAQ n. 3.11 del 18/12/18 sul DM 26/06/15 afferma che "la condensazione interstiziale possa considerarsi assente quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile (500 g/m²) e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale."



		d [cm]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
1	Nuova boiserie	2	0,130	1600	500	50
2	Pannello isolante in fibra di legno	8	0,040	2300	40	1,5
3	Guaina traspirante antivento	-	-	-	-	Sd < 0,1 m
4	Parete in <i>blockbau</i>	20	0,120	1600	450	625

Spessore	30	[cm]
Resistenza termica	4,029	[m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,248	[W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,035	[W/m ² K]

Limite trasmittanza = 0,34 W/m²K*
verificato

Verifica condensa:

superficiale interstiziale

si verificano fenomeni di condensa interstiziale da novembre a febbraio, ma essa evapora completamente da marzo a maggio**

1a	Listello di tamponamento
----	--------------------------

* valore ottenuto dall'incremento del 30% del limite della trasmittanza termica poiché l'isolamento termico si trova all'interno dell'involucro edilizio (da Dgr 272/2016, punto 11.3, lettera E)

** la FAQ n. 3.11 del 18/12/18 sul DM 26/06/15 afferma che "la condensazione interstiziale possa considerarsi assente quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile (500 g/m²) e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale."

Considerazioni

Il lavoro svolto è stato un'occasione per conoscere a fondo un esempio dell'architettura tradizionale del villaggio in cui sono cresciuta.

Da sempre gli standard abitativi sono in continua evoluzione, ma ciò non significa che gli edifici antichi debbano essere abbandonati. Il loro recupero, oltre a conservare la storia di cui essi sono testimonianza, è un modo per non incentivare l'espansione dell'ambiente edificato che, soprattutto in una piccola realtà montana come quella di Gressoney, rischia di rappresentare un elemento di forte discontinuità con l'ambiente naturale. La scelta di considerare materiali naturali a basso impatto ambientale è dettata non soltanto dall'affinità con la preesistenza, ma anche dalle problematiche odierne legate all'inquinamento. Infatti optare per prodotti che derivano da lavorazioni ecosostenibili rappresenta un contributo che l'architettura può offrire per limitare il consumo di risorse naturali.

Il progetto ipotizzato è un esempio di come sia possibile raggiungere i livelli di comfort dell'abitare odierno senza stravolgere l'identità storica dell'edificio. Trattandosi di un ambiente alpino, gli interventi più rilevanti riguardano la coibentazione. Intervenire dall'interno, come nel caso delle pareti, significa necessariamente sottrarre volume abitabile, già limitato, ma si tratta di un compromesso atto a preservare l'aspetto esterno originale. Sempre nell'ottica del miglioramento delle prestazioni energetiche, il progetto mostra come le tecnologie moderne sostenibili (quali la pompa di calore e il solare termico) possano integrarsi in un edificio antico rispettandone i caratteri tradizionali.

In futuro spero di poter mettere a disposizione le conoscenze che ho acquisito per la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio architettonico che mi circonda.

Bibliografia

Libri (opere a stampa)

- [1] E. Rizzi, *I Walser*. Fondazione Enrico Monti, Anzola d'Ossola, 2003.
- [2] —, *Storia dei Walser dell'Ovest*. Fondazione Enrico Monti, Anzola d'Ossola, 2004.
- [3] I. A. Targhetta et al., *Gressoney e Issime. I Walser in Valle d'Aosta*. Musumeci Editore, Quart (AO), 1986.
- [4] A. Alpago Novello et al., *Gressoney. Architettura spontanea e costume*. Görlich Editore, Novara, 1979.
- [5] C. Remacle, D. Marco e D. Zucca Paul, *Abitare walser. L'architettura storica nell'alta valle del Lys*. Le Château, Aosta, 2012.
- [6] M. Mirici Cappa, *Ambiente e sistema edilizio negli insediamenti walser di Alagna Valsesia, Macugnaga e Formazza*. Priuli & Verlucca, Aosta, 1997.
- [7] C. Remacle e D. Marco, *Architettura in legno in Valle d'Aosta XIV-XX secolo*. Tipografia Duc, Saint-Christophe, 2014.
- [8] C. Bertolin e E. Favre, *AlpHouse - Quaderno per il recupero energetico. Raccolta di casi-studio per interventi sul patrimonio edilizio tradizionale*. Tipografia Duc, Saint-Christophe, 2013.
- [9] V. Curta, *Gressoney ieri e oggi: antiche cronache e leggende*. a cura del Centro studi e cultura Walser, 1994.

Tesi di laurea/dottorato

- [10] *Salvaguardia e sostenibilità per un villaggio d'alta montagna*. Erika Favre, Politecnico di Torino, 2008-2009.
- [11] *Le case walser nella contemporaneità: intervento di recupero di un edificio tradizionale con conseguimento degli standard energetici e di vivibilità moderni*. Federica Prati, Politecnico di Torino e Universidad de Belgrano, 2018.
- [12] *Studio e valutazione degli effetti del rinforzo strutturale di travi antiche di abete tramite inserti a base di pannelli di legno con collegamento meccanico*. Daniele Cibecchini, Università degli Studi di Firenze, 2016.

Sitografia

- [13] https://assets.master-builders-solutions.com/it-it/quaderno_tecnico_ripristinorinforzo_murature_2017.pdf. (2 dic. 2020).
- [14] <http://www.angelobiondi.com/Download/Slideshow/Slideshow-InterventiMuratura.pdf>. (2 dic. 2020).
- [15] <https://www.lavorincasa.it/incatenamento-strutture-murarie/>. (2 dic. 2020).
- [16] [<https://www.kimia.it/it/blog/rinforzo-murature-iniezioni-stilature>]. (2 dic. 2020).
- [17] https://www.oppo.it/calcoli/travi/calcoli_statici_travi.html. (2 dic. 2020).
- [18] <https://www.cnr.it/it/node/2621>. (2 dic. 2020).
- [19] <https://www.cnr.it/it/node/2619>. (2 dic. 2020).
- [20] <https://img.edilportale.com/catalogs/MAPEI-Manuale-rinforzo-strutturale-MAPEI-0-catcf23250c.pdf>. (2 dic. 2020).
- [21] <http://www.arpa.vda.it/it/relazione-stato-ambiente/territorio-e-qualita-della-vita/radiazioni-ionizzanti/1348-livelli-di-concentrazione-di-attivita-di-radon-222-allinterno-di-edifici-indoor-terri007>. (2 dic. 2020).
- [22] <http://ton-gruppe.it/>. (2 dic. 2020).
- [23] https://naturalia-bau.it/fileadmin/products/documents/broschueren/IT/Naturalia_Bau_GUIDA_2020-2021.pdf. (2 dic. 2020).
- [24] <https://www.nordtex.it/misapor-ghiaia-in-vetro-cellulare/>. (2 dic. 2020).
- [25] <https://www.cemwood.de/en/>. (2 dic. 2020).
- [26] <https://www.nordtex.it/klimadry-pannello-radiante-riscaldamento-a-pavimento/>. (2 dic. 2020).
- [27] http://www.cened.it/documents/22239/982513/Abaco_dei_ponti_termici.pdf/44ed9241-843d-4a53-af18-7adc7589ed5b. (2 dic. 2020).
- [28] <https://campesato.it/>. (2 dic. 2020).
- [29] <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. (2 dic. 2020).
- [30] <https://www.ilpost.it/2018/11/10/energia-idroelettrica-ambiente/>. (2 dic. 2020).
- [31] https://www.lescienze.it/news/2018/11/06/news/idroelettrico_grandi_dighe_non_sostenibili_alternative-4179463/. (2 dic. 2020).
- [32] <https://sunpower.maxeon.com/it/prodotti-pannelli-fotovoltaici/pannelli-maxeon>. (2 dic. 2020).
- [33] <https://www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/costi-fotovoltaico.php>. (2 dic. 2020).
- [34] <https://www.edilizianamirial.it/software-certificazione-energetica/>. (2 dic. 2020).
- [35] <https://www.caleffi.com/italy/it/rivista-idraulica>. (2 dic. 2020).

- [36] https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/08514_15.pdf. (2 dic. 2020).
- [37] <https://www.energreengate.com/prodotti-43/pompe-di-calore-per-acqua-calda-sanitaria-e-per-piscine/egg-pcwb-pompe-di-calore-per-riscaldamento-piscine-stagionali.html>. (2 dic. 2020).
- [38] <https://people.unica.it/robertoricciu/files/2017/05/THERMITAL-SolareTermico.pdf>. (2 dic. 2020).
- [39] http://www.energiazero.org/solare_termico/viessman%20manuale%20solare%20completo.pdf. (2 dic. 2020).
- [40] <https://www.paradigmaitalia.it/impianti-solari-termici/pannelli-solari-termici/pannelli-solari-termici-sottovuoto>. (2 dic. 2020).
- [41] http://tis.bz.it/doc-bereiche/ren_doc/pdf/130208-solarthermieconv-1/4-Klammsteiner.pdf. (2 dic. 2020).
- [42] <https://palazzetti.it/prodotti/stufe-a-pellet/aria/>. (2 dic. 2020).

Altro

Colloqui con l'architetto progettista incaricato.

Ringraziamenti

Sono molte le persone senza le quali non sarei riuscita a completare il percorso di studi e questa tesi. Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno fornito sostegno e consigli in questi anni, a partire dai compagni di corso e dai professori che mi hanno fatto amare le loro discipline.

Un grazie sentito va ai miei amici e alla mia famiglia, in particolare a mio fratello per la pazienza dimostrata e per tutte le conoscenze che ha condiviso con me. A mia mamma, bibliotecaria presso la Biblioteca Intercomunale e specializzata Walser, per avermi fornito tutti i testi necessari.

Ringrazio inoltre Anna Maria Linty e Paola Thedy per tutto ciò che ho imparato durante il periodo di collaborazione, il Dott. Fochesato per l'autorizzazione ad utilizzare i disegni di rilievo del suo *stadel*, il Sig. Reboulaz per avermi concesso di utilizzare le sue foto e il Prof. Andrea Bocco per avermi seguita in quest'ultima parte del percorso.

Infine dico grazie a tutti coloro che cercano di mantenere in vita la cultura walser, a partire dai dialetti. *Tank!*