
Ambiente e patrimonio a rischio

Sfide tra conservazione e cambiamento



Ambiente e patrimonio a rischio

Sfide tra conservazione e cambiamento

Colophon

Questo volume e gli esiti di ricerca in esso pubblicati sono stati finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Missione 4 "Istruzione e ricerca" Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa" Investimento 1.5 - Ecosistema ECS_00000043 "iNEST - Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem" (CUP F43C22000200006) - Spoke 4.

Ambiente e patrimonio a rischio. Sfide tra conservazione e cambiamento

a cura di

Pierpaolo Campostrini

Sara Di Resta

Paolo Faccio

Laura Rappa

Enrico Rinaldi

ISBN (cartaceo)

979-12-5953-201-5

ISBN (digitale)

979-12-5953-184-1

DOI

10.57623/979-12-5953-184-1



Il presente volume è pubblicato in modalità Open Access Gold. Il file è scaricabile dalla piattaforma Anteferma Open Books www.anteferma.it/aob/

editore

Anteferma Edizioni

via Asolo 12, Conegliano, TV

edizioni@anteferma.it

prima edizione ottobre 2025

progetto grafico

Giulia Ciliberto

Luca Coppola

Pietro Costa

Giacomo Dal Prà

copyright



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

iNEST

Spoke 4

Città, Architettura
e Design Sostenibile

Coordinatore

Lorenzo Fabian

Coordinamento
scientifico

Massimiliano Condotta (Iuav)

Lorenzo Fabian (Iuav)

Luciano Gamberini (UniPD)

Elena Marchigiani (UniTS)

Alberto Sdegno (UniUD)

Lorenzo Bellicini (CRESME)

Pierpaolo Campostrini (CORILA)

Disclaimer

L'apparato iconografico presente è volto a supportare la comprensione dei prodotti della ricerca illustrati nel volume. Tutte le fonti delle figure sono state opportunamente segnalate dalle curatrici e dagli autori.

GRUPPO DI LAVORO

Università Iuav di Venezia (Spoke leader)

Sara Di Resta (coordinatore task 2.3), Maddalena Bassani, Paolo Faccio, Laura Rappa, Elena Tesser, Francesco Trovò.

CORILA

Pierpaolo Campostrini (coordinatore task 2.3), Enrico Rinaldi.

Università degli Studi di Padova

Laura Miola, Francesca Pazzaglia.

Università degli Studi di Udine

Alessandra Biasi, Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo, Giada Frappa, Margherita Pauletta, Claudia Pirina, Isabella Zamboni.

Università degli Studi di Trieste

Thomas Bisiani, Carlo Antonio Stival.

Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Vanessa Assumma, Isabella Giovanetti, Ilaria Innocenti.

CNR-ISAC Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima

Alessandra Bonazza, Fernanda Prestileo, Alessandro Sardella, Mariangela Zevola.

Fondazione LINKS

Rojin Bayat, Elios De Maio, Massimo Migliorini.

Politecnico di Torino

Jacopo Fiorenza.

Fondazione PIN

Franco Nicolucci, Luca Pezzati.

Università Ca' Foscari di Venezia

Andrea Campostrini, Elena Ghedini, Sabrina Manente, Federica Menegazzo, Michela Signoretto.

Università di Perugia

di Michele Alessandro

Universitat Politècnica de València

Pilar Bosch-Roig, Agustí Sala-Luis.

Co.New Tech. Srl

Fabrizio Benvenuti, Luca Benvenuti.

Indice

	Introduzione Benno Albrecht	p. 8
	Introduzione Lorenzo Fabian	p. 10
	Introduzione Roberto Beraldo	p. 12

SEZIONE 1	Attività di ricerca	p. 14
------------------	---------------------	-------

CAPITOLO 1 Valori del patrimonio e azioni di mitigazione	Introduzione Sara Di Resta	p. 18
	Variabili psicologiche e ambientali nell'interazione persona-ambiente e nella percezione dei beni architettonici e paesaggistici Francesca Pazzaglia, Laura Miola	p. 22
	Verso un modello di analisi del rischio e azioni di mitigazione per i macroeventi Enrico Rinaldi	p. 30

CAPITOLO 2 Innovazione e sostenibilità per l'intervento di restauro	Introduzione Paolo Faccio	p. 58
	Conservazione e gestione sostenibile del patrimonio culturale. Politiche, strumenti e prospettive di integrazione Sara Di Resta, Laura Rappa	p. 60
	Materiali e processi innovativi per la conservazione sostenibile del costruito Laura Rappa	p. 72

CAPITOLO 3 Scenari di intervento tra sicurezza, efficientamento e adaptive-reuse	Introduzione Francesco Trovò	p. 94
	Applicazione del modello di valutazione multirischio al centro abitato di Andreis (Pordenone) Alessandra Biasi, Margherita Pauletta, Isabella Zamboni, Giada Frappa	p. 98
	Strategie di riuso del patrimonio militare dismesso tra sostenibilità e consumo di risorse Claudia Pirina, Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo	p. 114
	Componenti di facciata per integrare/ adattare le unità abitative del patrimonio moderno Thomas Bisiani, Carlo Antonio Stival	p. 126

SEZIONE 2	Relazioni	p. 136
------------------	-----------	--------

CAPITOLO 4 Patrimonio, rischio e nuove tecnologie	Introduzione Pierpaolo Campostrini	p. 140
	La valutazione economica del patrimonio culturale tra rischio e resilienza Vanessa Assumma, Isabella Giovanetti, Ilaria Innocenti	p. 142
	Patrimonio culturale a rischio in un contesto di cambiamento climatico: strumenti e strategie di protezione nei progetti Interreg CE INACO e PNRR CHANGES Alessandro Sardella, Mariangela Zevola, Fernanda Prestileo, Alessandra Bonazza	p. 154
	Musei virtuali e metaverso: progettare un'esperienza unificata tra ambienti VR e avatar intelligenti Massimo Migliorini, Rojin Bayat, Elios De Maio, Jacopo Fiorenza	p. 164
	Il Progetto ARTEMIS e il Reactive Heritage Digital Twin Luca Pezzati, Franco Niccolucci	p. 174

CAPITOLO 5 Nuove tecnologie per il restauro	Introduzione	p. 186
	Maddalena Bassani, Elena Tesser	
	Nanotecnologie fotocatalitiche: un approccio sostenibile per la conservazione del patrimonio architettonico	p. 190
	Federica Menegazzo, Michela Signoretto Elena Ghedini, Sabrina Manente, Alessandro di Michele, Andrea Campostrini	
	Estratti naturali e nanomateriali per proteggere le superfici lapidee dal biodeterioramento	p. 196
	Andrea Campostrini, Pilar Bosch-Roig, Agustí Sala-Luis, Elena Ghedini, Sabrina Manente, Michela Signoretto, Federica Menegazzo	
	M4P0 – Monitoraggio 4.0: modello operativo per la conservazione programmata del patrimonio architettonico in ambiente complesso	p. 204
	Fabrizio Benvenuti, Luca Benvenuti	

Sezione 1

GRUPPO DI LAVORO

Coordinatori	Pierpaolo Campostrini Sara Di Resta Paolo Faccio Laura Rappa Enrico Rinaldi
--------------	---

Università Iuav di Venezia	Sara Di Resta Paolo Faccio Laura Rappa Francesco Trovò
-------------------------------	---

Università degli Studi di Padova	Laura Miola Francesca Pazzaglia
-------------------------------------	------------------------------------

Università degli Studi di Udine	Alessandra Biasi Giovanni Comi Vincenzo d'Abramo Giada Frappa Margherita Pauletta Claudia Pirina Isabella Zamboni
------------------------------------	---

Università degli Studi di Trieste	Thomas Bisiani Carlo Antonio Stival
--------------------------------------	--

CORILA	Pierpaolo Campostrini Enrico Rinaldi
--------	---

Attività di ricerca

a cura di

Pierpaolo Campostrini
Sara Di Resta
Paolo Faccio
Laura Rappa
Enrico Rinaldi

Capitolo 3



Il restauro, attività regolata che mira alla conservazione delle architetture del passato, è di per sé una pratica sostenibile, perché orientata al mantenimento delle preesistenze, considerando rimozioni e aggiunte come azioni tendenzialmente residuali.

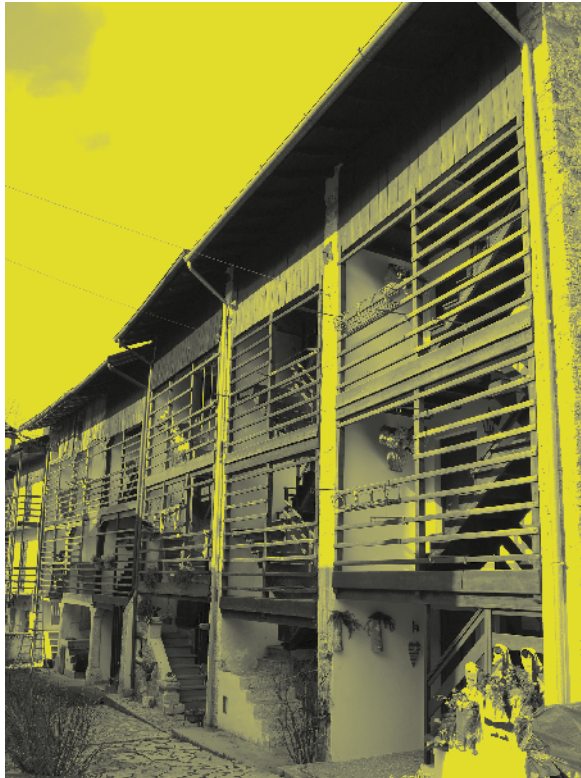
Scenari di intervento tra sicurezza, efficientamento e adaptive-reuse

Autori

Alessandra Biasi
Margherita Pauletta
Isabella Zamboni
Giada Frappa

Affiliazione

Università degli Studi
di Udine



Andreis (PN).
Esempio di tipo abitativo a schiera con Daltz, prospetto sud.
I. Zamboni 2025.

Applicazione del modello di valutazione multirischio al centro abitato di Andreis (Pordenone)

UNA METODOLOGIA PER L'ANALISI DEI RISCHI IN VISTA DI MISURE DI PROTEZIONE DEI DALTZ

L'applicazione del modello di analisi multirischio al nucleo abitato di Andreis¹ condotta dall'Università degli Studi di Udine² si colloca nel quadro degli scenari di intervento, incentrati sullo sviluppo di una metodologia di analisi dei rischi e correlate misure di mitigazione, profilati nell'ambito della ricerca condotta all'interno del progetto PNRR, iNEST-Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem, Spoke 4 - City, Architecture, Sustainable Design, RT2 - Heritage, recovery, conservation³. Tale ricerca, in uno sguardo di largo respiro, ne ha saldato le prerogative alle prescrizioni di protezione e salvaguardia del patrimonio culturale a rischio, conforme ad un approccio sostenibile e integrato, rispettoso della ricchezza e dell'articolazione dei diversi ecosistemi presenti nei territori del Nord-Est. Un patrimonio insediativo composito, dunque, le cui qualità - laddove opportunamente riconosciute, preservate e gestite - rappresentano una risorsa preziosa sul fronte della coesione sociale e dell'implementazione del sistema economico nel suo insieme. Si tratta di risorse non permanenti, oggi come nel passato suscettibili al rischio di eventi estremi (terremoti, inondazioni, incendi); emblematico è il caso del Comune di Andreis, distrutto a più riprese da terremoti e incendi nel corso dei secoli. Ciò a sottolineare l'importanza dell'identificazione di strumenti e strategie di protezione idonee a ridurre la vulnerabilità e aumentare la resilienza del patrimonio architettonico locale, nella fattispecie i Daltz che ne rappresentano tradizionalmente le peculiarità (Chinellato e Croatto, 2002; Petriccion *et al.*, 2020)⁴, viepiù nel contesto di cambiamento climatico destinato ad accentuare la pressione dei fenomeni di pericolo entro l'assetto idro geomorfologico del territorio (Biasi *et al.*, 2024). Occorre ricordare in proposito che il territorio di Andreis, esteso entro la vallata prealpina delimitata a nord dai profili montuosi culminanti nella cima del monte Raut (2000 m s.l.m.) e attraversata dai torrenti Alba e Molassa, è caratterizzato dal digradare in direzione sud-ovest dei rilievi montani in terrazzamenti e versanti a morfologia dolce, soggetti ad instabilità franose, in cui si insediano storicamente i nuclei abitati (Bosplans, Prapiero, Alcheda, Sott'Anzas, Andreis capoluogo).

FIGURA 01 – P. 108

Per inquadrare, nonché valutare, l'applicazione del modello multirischio al nucleo abitato di Andreis occorre richiamare la metodologia di analisi dei rischi che, opportunamente correlata a specifici insiemi di MTTM

(Metodologie, Tecnologie, Tecniche, Materiali), profila un approccio strutturato sul piano della mitigazione, adattamento e/o miglioramento dei pericoli e vulnerabilità che investono il patrimonio entro il panorama urbano e architettonico del Nord-Est nel suo complesso. Un'opportunità che in quest'ottica e prospettiva trova implementazione applicativa nel nucleo abitato di Andreis, il cui patrimonio culturale come accennato non è esente da rischi estremi di origine naturale di cui gli strumenti di rilevazione messi appunto offrono un quadro sistematico per singoli eventi (terremoto, inondazioni, fuoco)⁵.

In tale scenario e ancorché allo stato dell'arte delle indagini relative alla vulnerabilità del nucleo di Andreis⁶, il modello multirischio costituisce uno strumento di analisi e valutazione innovativo che consente di fare nuova sintesi dei dati disponibili, via via incrementabili. Ciò a partire dall'indirizzo metodologico della ricerca che muove a monte da alcuni passaggi chiave: l'adozione di un modello basato sui macro-eventi (alluvioni, terremoti, isole di calore urbane e necessità di efficientamento energetico, incendi) di ogni fenomeno, alla luce della mappatura dei rischi su scala regionale e locale, vengono indagate caratteristiche e localizzazione territoriale degli impatti a scala urbana e architettonica; la ricezione del rischio in chiave di azione simultanea di più eventi (approccio multirischio) tramite l'adozione di modelli e strumenti mirati; la lettura integrata tra fenomeno/evento e deterioramento/danno laddove la metodologia per l'analisi dei rischi fornisce lo scenario di riferimento a supporto dell'attuazione delle misure tutela del patrimonio architettonico; la determinazione dei pericoli e vulnerabilità del sito e dei componenti dell'edificio tramite opportuni strumenti di conoscenza, valutazione e applicazione orientati all'individuazione del sistema di MTTM più appropriato in vista di azioni di miglioramento/adequamento.

Sono questi criteri metodologici, ripresi e implementati nell'applicazione del modello di analisi al nucleo abitato di Andreis, a consentire l'avvio di una formulazione strutturata, in chiave multirischio, dei pericoli legati ai macro-eventi che investono il patrimonio architettonico locale⁷. Si profilano così, conforme ai parametri assegnati alla vulnerabilità del patrimonio e del territorio, concreti scenari di intervento in vista di misure di protezione aderenti alle istanze della conservazione preventiva e programmata attorno a cui si è avviato un confronto con l'Amministrazione locale (Della Torre, 2003; Moiola, 2023). In particolare, si rileva come la fase analitica del modello di rischio assuma un ruolo dirimente laddove il vaglio della pericolosità sismica, in relazione alla vulnerabilità formale e strutturale, si salda alla conoscenza peculiare di tipologia, planimetria, materiali, caratteri costruttivi e interventi di miglioramento sismico in essere⁸.

FIGURA 02 – P. 109

FIGURA 03 – P. 110

Ne esce in questo contesto una visione a tutt'oggi inedita dello stato del singolo caso studio che, opportunamente estesa ad includere l'intero patrimonio, potrà svolgere un ruolo guida nel processo decisionale futuro.

Detto ciò, nel corso della ricerca l'articolazione delle fasi costruttive dei Daltz si è rivelata più complessa di quanto sino ad oggi stimato e anche l'applicazione di tecniche di intervento post terremoto non risulta sempre rispondente ad un criterio di uniformità entro organismi tipologicamente affini ma distinti sotto il profilo storico costruttivo (Gentili e Croatto, 2008). Ciò suggerisce cautela nella generalizzazione dei dati desunti dall'applicazione del modello al caso studio, di cui si è testata l'efficacia metodologica non già, allo stato attuale dell'indagine, l'entità delle peculiari differenze insite in ogni singola fabbrica. Ma, come ricordato, si tratta dell'avvio di uno studio di ricerca ancora in fieri.

CLASSIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE DEGLI EDIFICI

È stato effettuato un rilievo speditivo della tipologia strutturale degli edifici, prevalentemente residenziali, presenti nel comune di Andreis. A valle del rilievo, quasi tutti gli edifici, per la precisione 466, sono stati classificati secondo le seguenti tipologie:

MAS 1: pareti portanti in muratura di pietra per le strutture verticali, travi e assi di legno per solai e copertura, edificio senza balcone.

MAS 2: pareti portanti in muratura di pietra per le strutture verticali, travi e assi di legno per solai e copertura, edificio con balcone.

MAS 3: pareti portanti in muratura di pietra per le strutture verticali, travetti e soletta superiore in calcestruzzo armato (c.a.) con elementi di alleggerimento in laterizio per solai e copertura, edificio con o senza balcone.

MAS 4: pareti portanti in muratura di mattoni ed eventualmente pilastri in c.a. per le strutture verticali, travetti e soletta superiore in c.a. con elementi di alleggerimento in laterizio per solai e copertura, edificio con o senza balcone.

RC 1: pareti e pilastri in calcestruzzo armato per le strutture verticali, travetti e soletta superiore in c.a. con elementi di alleggerimento in laterizio per solai e copertura, case a schiera con balcone.

FIGURA 04 – P. 111

In Tabella 01 sono stati riportati i risultati della classificazione effettuata. Dalla tabella si osserva che le tipologie edilizie più comuni in Andreis sono MAS 1 e MAS 2. In particolare, la tipologia MAS 2, rappresentando i cosiddetti Daltz, ha rilevante importanza storico-culturale, in quanto rappresentativa del patrimonio delle tecniche costruttive del paese. Per queste ragioni, la presente ricerca considera, come caso studio, un edificio appartenente a tale tipologia.

TABELLA 01 – P. 110

ANALISI DEL RISCHIO PER IL CASO STUDIO CONSIDERATO

Terremoto

Pericolosità sismica

La scheda multirischio prevede una valutazione iniziale della pericolosità regionale e locale, attraverso la valutazione delle condizioni geologiche e geosismiche generali e locali del sito e del contesto architettonico-urbano. Si fa presente che, secondo la *Mappa di Rischio Sismico* dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, 2006), il territorio italiano è suddivisa in zone con 4 diversi livelli di sismicità, secondo il valore di un unico parametro di riferimento a_g , corrispondente al picco di accelerazione su terreno roccioso e configurazione topografica pianeggiante. Per gli stati limite di salvaguardia della vita, è determinata la seguente classificazione: in Zona 1 si ha $a_g > 0,25g$; in Zona 2, $0,15g < a_g < 0,25g$; in Zona 3, $0,05g < a_g < 0,15g$; e in Zona 4, $a_g < 0,05g$, dove g rappresenta il valore dell'accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/s}^2$). Siccome per il comune di Andreis si ha $a_g > 0,25g$, esso ricade nella zona di più elevata sismicità italiana (Zona 1). In termini di intensità sismica e macrosismica, dal *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* dell'INGV (Rovida *et al.*, 2022) risulta che l'intensità del terremoto più gravoso, con epicentro a meno di 20 km di distanza, a cui è stato soggetto Andreis, è stata di 6.5 gradi della scala Richter, cui corrisponde un

grado della scala Mercalli MCS>IX. Inoltre, la *Relazione Illustrativa della Microzonazione Sismica del Comune di Andreis* (Bincoletto e Riccio, 2019) evidenzia la presenza, sotto il paese, di terreni costituiti da ghiaie, sabbie e limi di origine morenica, che possono determinare ulteriori amplificazioni, di entità anche elevata, dell'intensità sismica.

Dal punto di vista del contesto architettonico-urbano, il centro abitato di Andreis non è esteso in pianta, ma presenta un'elevata densità edilizia, con molti edifici addossati o a breve distanza tra loro. Le vie di accesso agli edifici sono generalmente piuttosto strette, poiché dimensionate in epoca antecedente alla diffusione delle automobili. L'edificio considerato come caso studio è situato nel centro del paese.

Tenendo conto delle evidenze sopra descritte, il rischio sismico regionale è risultato molto alto, pari al 93%, e quello locale alto, pari all'80%, come si può rilevare dai dati riportati nella Figura 05, che riassume i pesi dei parametri utilizzati per la valutazione.

Vulnerabilità formale

Per la valutazione della vulnerabilità formale dell'edificio, la scheda multi-rischio tiene conto dei seguenti aspetti:

- le configurazioni planimetrica e altimetrica e il loro essere favorevole o meno a contrastare un terremoto;
- la presenza di volumi aggregati, come portici, logge, terrazze sospese;
- la presenza di edifici adiacenti che possano mitigare l'impatto del sisma;
- gli elementi non strutturali e la loro capacità di sopportare un terremoto: comignoli, cornicioni, controsoffitti, infissi, appendici, arredi, oggetti interni ed esterni che possono causare danni con la loro caduta.

FIGURA 06 – P. 113

Le configurazioni planimetrica e altimetrica del caso studio sono visibili nelle Figure 06a e 06b. L'edificio si eleva per tre piani, comprensivi del sottotetto, e ha pareti portanti in muratura di pietra disposte lungo le due direzioni principali, due pareti in direzione nord-sud e tre in direzione est-ovest. Queste ultime hanno una lunghezza complessiva maggiore di quella delle prime. La pianta dell'edificio non è simmetrica rispetto all'asse nord-sud, a causa dell'arretramento della parete ovest rispetto alla facciata (Fig. 06a). Le aperture, costituite da porte e finestre, sono allineate in elevazione nelle pareti nord, sud e ovest. Rispetto ai piani superiori, nelle pareti sud e ovest è presente un'apertura aggiuntiva al piano terra. A questo livello le aperture occupano circa 1/5 della parete sud e 1/3 della parete ovest. In corrispondenza del piano sottotetto (terzo piano) la parete ovest è assente ed è sostituita da un tamponamento costituito da un paramento ligneo allineato alla facciata (Fig. 06b). Pertanto, rigidità e resistenza delle pareti sud e ovest sono inferiori al piano terra rispetto ai piani superiori. Nella parete est le aperture sono piccole, ma non allineate in altezza, riducendo così l'ampiezza della porzione resistente di muratura. Su tale parete si rileva anche la presenza di una preesistente apertura ad arco, poi tamponata, e di un parziale taglio nel muro per l'inserimento di impianti. Tuttavia, entrambi gli interventi si trovano sotto finestre e quindi non vanno ad influire sulla resistenza dei maschi murari. La configurazione delle strutture verticali descritta comporta un'eccentricità tra centro di massa e centro di rigidità dell'edificio di circa 1 m in direzione est-ovest al primo e secondo piano, leggermente maggiore al piano terra, per la presenza delle aperture più estese nella parete ovest, e di circa 2,5 m al

terzo piano, per l'assenza della parete ovest. Dal punto di vista della vulnerabilità formale, tale configurazione determina un comportamento torsionale dell'edificio sotto azione sismica, particolarmente accentuato all'ultimo piano. Tale comportamento produce spostamenti e quindi sollecitazioni agiuntive nelle porzioni di parete più lontane dal centro di rigidità.

Si evidenzia che le porzioni murarie che sorreggono balcone e scala sono state aggiunte successivamente rispetto al nucleo chiuso, che è stato costruito per primo, come si deduce dalla presenza di una linea di discontinuità all'intersezione di queste porzioni di parete con il nucleo (Fig. 06c). Esse, tuttavia, sono collegate tra loro nella direzione nord-sud, mediante travi d'acciaio e tiranti disposti al livello dei solai, e al nucleo chiuso nella direzione est-ovest, mediante tiranti.

Esternamente, la struttura non è collegata ad altre costruzioni. È, invece, presente una canna fumaria, addossata e non ammorsata alla parete est. Si tratta di un elemento che potenzialmente, sotto azione sismica, potrebbe staccarsi e crollare. Anche il comignolo servito dalla canna fumaria potrebbe andare soggetto a ribaltamento.

Tenendo conto delle caratteristiche dell'edificio rilevate e sopra descritte, la vulnerabilità formale è stata valutata come alta, pari all'80%, come si può rilevare dai dati riportati nella:

FIGURA 05 – P. 112

Vulnerabilità strutturale

Per la valutazione della vulnerabilità strutturale dell'edificio, la scheda multirischio tiene conto principalmente dei seguenti aspetti:

- configurazione strutturale e tipologia dei materiali costituenti la struttura portante;
- qualità e stato di conservazione della tessitura muraria e della malta, grado di levigatura delle pietre naturali, presenza di collegamenti parete-parete (efficacia dei cantonali), adozione di sistemi come tiranti antiespulsivi, ristilatura dei giunti, iniezioni leganti, intonaci armati, interventi cuci-scuci;
- condizioni di degrado e/o dissesto e interventi di miglioramento sismico eseguiti su strutture verticali, orizzontali, fondazioni, scale, copertura;
- presenza di collegamenti tra gli elementi strutturali, come tiranti, catene, contrafforti, cerchiature, cordoli, ancoraggi;
- configurazione delle strutture orizzontali dei solai per valutare effetti di martellamento con le pareti con conseguente ribaltamento delle stesse al di fuori del piano.

Le pareti in muratura dell'edificio costituiscono le strutture sismo-resistenti e, contemporaneamente, le strutture che reggono i carichi verticali trasferiti da solai e copertura. La tessitura muraria delle pareti è irregolare (Fig. 06c), con elementi di pietra di dimensioni molto variabili, da pochi centimetri fino a 20-30 cm. Anche i letti di malta hanno spessori irregolari. Le dimensioni dei cantonali sono variabili, tuttavia il grado di ammorsamento tra muri perpendicolari appare sufficiente. Nel 1980 è stata eseguita la ristilatura dei giunti di malta, che appaiono ancora in un discreto stato di conservazione. Sono inoltre stati eseguiti interventi cuci-scuci, in corrispondenza di lesioni. Non sono stati invece effettuati interventi, come l'intonaco armato, che avrebbero potuto innalzare la resistenza delle pareti. La copertura è stata dotata di cordoli di sottotetto e sono stati ripristinati gli elementi del tetto che erano ammalorati. Non sono stati effettuati

interventi sulle fondazioni, che, con ogni probabilità, non hanno allargamento fondale. Le scale esterne dell'edificio sono in legno, a parte al piano terra, dove sono in muratura. Nel 1980 sono state realizzate scale a chiocciola interne in legno, con opportuno collegamento delle travi portanti alle pareti. Le scale in legno hanno solo la funzione di portare i carichi verticali, mentre, per quanto riguarda l'azione sismica, non offrono alcun contributo, avendo una rigidità trascurabile. Infine, sono stati effettuati interventi di sostituzione degli architravi delle porte, originariamente in legno, con nuova realizzazione in c.a.

Allo stato attuale non si segnalano evidenti fenomeni di dissesto degli elementi strutturali dovuti a sismi recenti. Piccole evidenze di degrado sono l'erosione superficiale delle pietre con minore compattezza, come quelle in arenaria, e qualche fessurazione da ritiro nei giunti di malta. Tuttavia, complessivamente, l'edificio appare in buone condizioni di conservazione. Ai fini della valutazione del comportamento globale della struttura per la resistenza sismica, si fa osservare che la dimensione minore dell'edificio in pianta è di circa 6 m e l'altezza del colmo è di circa 10 m; quindi, la sua configurazione non è particolarmente snella. Il comportamento dell'edificio, inoltre, può essere considerato sufficientemente scatolare, grazie alla realizzazione nel 1980 dei seguenti interventi di miglioramento sismico:

- tiranti nelle due direzioni principali ai livelli dei solai, in particolare in direzione nord-sud al secondo e terzo piano e in copertura, e in direzione est-ovest al primo e terzo piano;
- cordoli in c.a. inseriti nelle murature ai livelli dei solai e del sottotetto (Fig. o6d);
- soletta in calcestruzzo armato realizzata al di sopra del solaio in legno e collegata ai cordoli di piano tramite ammorsamenti a coda di rondine (Fig. o6d). Grazie a tali ammorsamenti non possono esserci martellamenti tra le pareti e la soletta stessa, anzi essa tenderà a trattenere eventuali ribaltamenti fuori piano delle pareti. Non sono stati tuttavia realizzati collegamenti tra le solette e le travi che la sostengono; quindi, la soletta non può essere considerata collaborante con le travi al fine di portare i carichi verticali, ma costituisce un peso aggiuntivo;
- controventi diagonali in acciaio realizzati al di sopra del solaio in legno, annegati nella soletta in c.a. e ammorsati ai cordoli perimetrali in c.a.

Sulla base delle caratteristiche strutturali dell'edificio e degli interventi di miglioramento sismici rilevati, la vulnerabilità strutturale è stata valutata come medio-alta, pari al 64%, come si può rilevare dai dati riportati nella:

FIGURA 05 – P. 112

Esposizione

La scheda multirischio prevede anche una valutazione dell'esposizione dell'edificio e dei beni/persona in esso contenuti, tenendo conto principalmente dei seguenti aspetti:

- le funzioni e il relativo livello di affluenza in base alla sua natura pubblica o privata dell'edificio stesso;
- i percorsi di evacuazione.

Ai fini della valutazione dell'esposizione si fa osservare che l'edificio ha funzione abitativa ed è costituito da due unità immobiliari. Ogni unità è dotata di due percorsi di evacuazione, uno esterno, attraverso le scale in

legno dei ballatoi, e uno interno, attraverso la scala a chiocciola. Sulla base di tali informazioni si è valutata l'esposizione come medio-bassa, pari al 40%, come si può rilevare dai dati riportati nella:

FIGURA 05 – P. 112

Alluvione

Per poter valutare il rischio alluvione, il modello ha indotto la presa in esame delle condizioni geomorfologiche e idrografiche (regionali e locali) del territorio di Andreis. Due sono, in sintesi, i sistemi di appartenenza: le Prealpi Carniche con gli specifici suoli e le faglie attive e capaci (Carulli, 2006; Scortegagna e Zanetti, 2008), e il bacino del fiume Livenza. Il paesaggio naturale della Valcellina è notoriamente e profondamente mutato nel corso del tempo in virtù dello sfruttamento idrico: l'omonimo fiume, infatti, da via di trasporto per l'approvvigionamento di legname grezzo, divenne risorsa per la produzione di energia a partire dalla fine del XIX secolo (Valussi, 1963, pp. 83-99). L'attuale sistema di centrali idroelettriche, in funzione a partire dal 1988 e caratterizzante l'efficiente rete idrografica regionale, comprende: quelle di Barcis, San Foca e Villa Rinaldi; diga di Ponte Antoi (anni '50); il bacino di accumulo presso le strette di Ravedis (prima piena 2014) e tre impianti più recenti lungo i corsi Cellina, Ponte Giulio, San Leonardo e Cordenons (Chinnellato e Petriccione, 2019).

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), nell'ambito dei propri compiti istituzionali, opera la raccolta, elaborazione e diffusione dei dati in materia di difesa del suolo e dissesto idrogeologico del territorio nazionale (artt. 55 e 60 del D.Lgs. 152/2006 *Norme in materia ambientale*). In particolare, fornisce mosaicature di pericolosità, realizzate sulla base dei *Piani di Assetto Idrogeologico – PAI Frane* e delle mappe di pericolosità idraulica, che, secondo gli scenari del D. Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva Alluvioni (2007/60/CE), tengono conto degli aggiornamenti provenienti dalle Autorità di Bacino Distrettuali (ISPRA e SNPA, 2021). Pertanto, la consultazione della piattaforma multimediale *IdroGEO* (ISPRA 2025) è fondamentale per la presa in esame di dati su pericolosità e altri indicatori di rischio. In particolare, il *Piano di Assetto Idrogeologico* (2020) tiene conto anche dell'elevata piovosità del centro abitato di Andreis e riporta la perimetrazione di 17 zone specifiche con relative classi di pericolosità, dissesti da frana e categorie di rischio. In un solo caso è individuata una zona a pericolosità geologica «molto elevata» nelle pertinenze occidentali dell'insediamento, mentre altre pericolosità «elevate» si trovano nelle immediate vicinanze a est e a ovest. Lungo lo sviluppo a sud della terrazza e della strada di accesso è presente una zona di pericolosità «media» che potrebbe ostacolare anche l'arrivo di ulteriori mezzi di soccorso. Per la valutazione di questo parametro il modello richiede anche informazioni sulla precipitazione media annua che, in base ai dati della rete meteorologica regionale 1991-2020 (ARPA FVG, 2023, p. 12), risulta essere «elevata» (1.800-2.100 mm). La valutazione complessiva degli indicatori di pericolosità regionale e locali sono stati conseguentemente stimati dal sistema di calcolo come medio-alti pari al 60% e 70%.

Richiamando, poi, le caratteristiche costruttive descritte nel precedente paragrafo (spessore e tecnica esecutiva delle murature al piede, trasformazioni, consolidamenti progressivi...), nonché lo stato di conservazione dell'edificio in esame, è stato in via speditiva assegnato il valore medio-basso (pari al 40%) al parametro vulnerabilità strutturale (Fig. 06b e c). Relativamente alla vulnerabilità formale è stato necessario considerare l'esistenza di sistemi di protezione del caso studio (di media efficienza in virtù di un'opera di iniziativa privata per lo smaltimento delle acque piovane sul

lato ovest) e l'eventuale presenza di beni in piani interrati (assenti), ciò ha determinato una valutazione medio-bassa pari al 40% (Fig. 05). I valori del parametro esposizione sono conformi a quanto dichiarato per il rischio precedente, in riferimento a fattori comuni di schedatura.

Incendi

In relazione al rischio di incendi boschivi, l'area è caratterizzata da una «Pericolosità Media» secondo il *Piano Regionale delle Emergenze* della Protezione Civile FVG (2008). Il clima è definito come «subcontinentale continentale debole» secondo l'indice di continentalità bioclimatica (Ic); «superumido inferiore» secondo l'indice di termicità bioclimatica (Itc); «iperumido inferiore» secondo l'indice di ombrotermicità bioclimatica (Io) (ARPA FVG, 2023). Il modello tiene conto, analogamente al precedente tipo di rischio, dei dati relativi alla precipitazione media annua (1.800-2.100 mm). Tra gli indicatori delle condizioni meteorologiche è stato richiesto di valutare anche la ventosità, pertanto, sulla base della consultazione dei valori medi provenienti da 4 stazioni di rilevamento, si è proposto un valore di vento elevato (ARPA FVG, 2023). La presenza in loco di volontari della Protezione Civile con specifiche attività antincendio contribuiscono all'attribuzione di un indice medio per l'indicatore di pericolosità regionale e locale (pari al 50%).

Per quanto riguarda la vulnerabilità architettonica, le fonti storiche riferiscono di numerosi incendi che hanno causato danni agli edifici in passato, in particolare quelli del 1671, 1798, 1873 e 1919 (Rosa, 1966[1981]; 2000, pp. 77-94). Il fattore va necessariamente contestualizzato nell'ambito delle evoluzioni del tipo architettonico (Chinellato e Croatto, 2002; Petriccion *et al.*, 2020) e delle trasformazioni del singolo caso studio. Le caratteristiche costruttive dell'edificio in esame (tra le quali la chiusura verticale a ovest con Daltz ligneo), l'assenza di dispositivi di protezione e la scarsa resistenza al fuoco degli arredi consentono di proporre una vulnerabilità formale elevata (pari all'80%) con ricadute sia sulla perdita di vite umane che di elementi caratterizzanti il patrimonio culturale di Andreis (Fig. 06b e c). Il valore di esposizione è in questo caso ricavato direttamente dal modello di calcolo e risulta medio-alto pari al 70% (Fig. 05).

Isole di calore urbano

Il contesto ambientale e climatico del centro abitato di Andreis, che si sviluppa in un bacino longitudinale (455 m s.l.m., latitudine 46.20185), implica infine una medio-bassa pericolosità alle isole di calore urbano (pari al 40%). Ciò è rafforzato anche dalla presenza di aree verdi urbane e di specchi d'acqua in prossimità (ruscelli Susaibes, Molassa e Alba).

Le pavimentazioni sono in prevalenza realizzate con materiali tradizionali e definiscono una bassa riflettanza (albedo urbano), un'elevata permeabilità e un'alta conduttività termica. Nonostante l'edificio in esame sia esposto a ovest (contrariamente alla maggior parte delle case andree solitamente rivolte a sud per un migliore soleggiamento), le caratteristiche specifiche del Daltz, dotato di rastrelliere in listelli di legno, favoriscono la schermatura dei raggi solari, maggiormente incidenti a ovest. I materiali da costruzione garantiscono un'alta efficienza dell'involucro (elevata massa termica dell'edificio, ridotta superficie delle finestre, presenza di sistemi di ombreggiamento e spessore delle pareti) e un'altissima resilienza termica delle pareti (elevata densità e capacità termica del materiale di muratura in pietra) e del tetto non abitato e ventilato (Fig. 06b e c). Non vi è quindi necessità di sistemi di raffrescamento. La vulnerabilità strutturale si attesta pertanto su un valore basso (20%) mentre quella formale è risultata essere medio-bassa (pari al 40% in Fig. 05). Il medesimo risultato è stato calcolato per l'indicatore di esposizione.

Riferimenti bibliografici

- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Friuli-Venezia Giulia – ARPA FVG (2023) *Il clima del Friuli-Venezia Giulia*. OSMER e GRN. Disponibile su: <https://www.arpa.fvg.it/> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (2020) *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Livenza. Prima Variante*. D.Lgs. 152/2006. Carta della pericolosità geologica. Comune di Andreis (PN). Disponibile su: <https://distrettoalpiorientali.it/> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Biasi, A., Riavis, V., Zamboni, I., et al. (2024) 'Patrimonio architettonico urbano e cambiamento climatico. Un'occasione per affrontarne la complessità', in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, 28/2, pp. 7-18.
- Bincoletto, L., Riccio, A. (2019) *Microzonazione sismica-Relazione illustrativa* Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Comune di Andreis.
- Chinellato, F., Croatto, G. (2002) *Percorsi di architettura spontanea dalla Valcellina alla Val Colvera*. Udine: Forum.
- Della Torre, S. (2003) 'La conservazione programmata – Una strategia per il patrimonio storico-architettonico', in *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico – Linee guida per il piano di manutenzione e consuntivo scientifico*. Milano: Guerini e Associati, pp. 15-20.
- Gentili, R., Croatto, G. (2008) *Il patrimonio salvato. Il recupero dell'architettura spontanea friulana dopo gli eventi sismici del 1976*. Udine: Forum.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA (2025), *IdroGEO. La piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico*. Disponibile su: <https://idrogeo.isprambiente.it/app/> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente – SNPA (2021), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Disponibile su: <https://www.isprambiente.gov.it/it> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV (2006) *Mappa di Rischio Sismico*. Disponibile su: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (Ultimo accesso: 20 agosto 2025).
- Moioli, R. (2023) *La Conservazione preventiva e programmata: una strategia per il futuro. Premesse, esiti e prospettive degli interventi di Fondazione Cariplo sul territorio*. Firenze: Nardini.
- Orecchia, F. (2024) *I daltz di Andreis. Rilievo avanzato, modellazione e analisi tecnologica*. Tesi di laurea magistrale in Architettura, Università degli Studi di Udine, a.a. 2023-2024, relatore Veronica Riavis, correlatori Alessandra Biasi, Catia Pozielli.
- Peruggia, A. (2024) *L'architettura spontanea di Andreis. Analisi tipologica e insediativa, rilievo avanzato e modellazione*. Tesi di laurea magistrale in Architettura, Università degli Studi di Udine, a.a. 2023-2024, relatore Veronica Riavis, correlatori Alessandra Biasi, Catia Pozielli.
- Petriccione, L., Chinellato, F., Croatto, et al. (2020) 'Architettura, tradizione e recupero in un centro storico minore del Friuli Venezia Giulia', in *Rivista valori e valutazioni*, 25, pp. 19-26. Disponibile su: <https://hdl.handle.net/11390/1187800> (Ultimo accesso: 19 settembre 2025).
- Protezione Civile Friuli-Venezia Giulia (2008), *Piano di Emergenza Regionale*, delibera di Giunta Regionale n. 99, DD. 18.1.2008. Disponibile su: <https://pianiemergenza.protezionecivile.fvg.it/risks/incendi> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Provincia di Pordenone, Comune di Andreis (2013). *Piano Regolatore Generale Comunale, Variante n. 5*. Disponibile su: <https://www.comune.andreis.pn.it/it> (Ultimo accesso: 31 agosto 2025).
- Rosa, G. [1966[1981]] *La Villa e la Valle di Andreis*. Pordenone: F.lli Cosarini.
- Rosa, G. (2000) *"Girar negoziando fuori paese". Merceri, prestasoldi e borsari: Andreis nel Settecento tra comunità vicine e mercati lontani*. Manzano: Grafiche Manzanesi.
- Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., et al. (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Disponibile su: <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>.
- Scortegagna, U., Zanetti, M. (2008) *Escursioni nel Parco Naturale Dolomiti Friulane*. Verona: Cierre.
- Valussi, G. (1967) *La Valcellina. Guida storico-geografica per il turista*. Pordenone: Del Bianco.

Note

- 1 Il nucleo abitato di Andreis (455 m. slm) è capoluogo dell'omonimo Comune, sito in Provincia di Pordenone, membro della Comunità Montana Meduna Cellina, nonché parte integrante del Parco delle Dolomiti Friulane.
- 2 Del gruppo di ricerca fanno parte Alessandra Biasi, Giada Frappa, Margherita Pauletta, Isabella Zamboni.
- 3 Il modello multirischio è uno degli elementi centrali della metodologia complessiva sviluppata nell'attività 2.3 - *Heritage, recovery, conservation*, riguardante l'analisi del rischio e l'individuazione delle azioni di mitigazione per edifici e siti urbani. Per approfondimenti cfr. E. Rinaldi, *Verso un modello di analisi del rischio e azioni di mitigazione per i macro-eventi* nel presente volume.
- 4 Sulla caratterizzazione, ai presenti fini, dei Daltz si veda in particolare il saggio di Pauletta e Frappa.
- 5 Si rimanda in merito a quanto trattato da Pauletta, Frappa e Zamboni in questo articolo.
- 6 Studi circostanzianti sulle strategie di protezione trovano rimandi alla scala territoriale nelle previsioni del PRGC 2013.
- 7 Relativamente agli esiti si rimanda ai contributi di Pauletta, Frappa, Zamboni in questo saggio.
- 8 In merito si rimanda a Pauletta in questo saggio. Si sottolinea che tutti gli indicatori interfacciano la valutazione degli altri fenomeni di rischio, vedi Zamboni in questo articolo.

Attribuzioni

Il paragrafo dal titolo *Una metodologia per l'analisi dei rischi in vista di misure di protezione dei Daltz* è da attribuire ad Alessandra Biasi, i paragrafi dal titolo *Analisi del rischio per il caso studio considerato, Terremoto e Alluvione* sono da attribuire a Margherita Pauletta e Giada Frappa, mentre i paragrafi *Incendi e Isole di calore urbano* sono da attribuire a Isabella Zamboni.



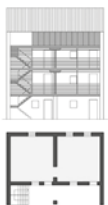
FIGURA 01

Inquadramento geografico di Andreis e frazioni.
A. Perugia, 2024.

● DALTZ A IMPIANTO MONOCELLULARE (P3)



● DALTZ IMPIANTO BICELLULARE (S1)



● DALTZ IMPIANTO TRICELLULARE (T)

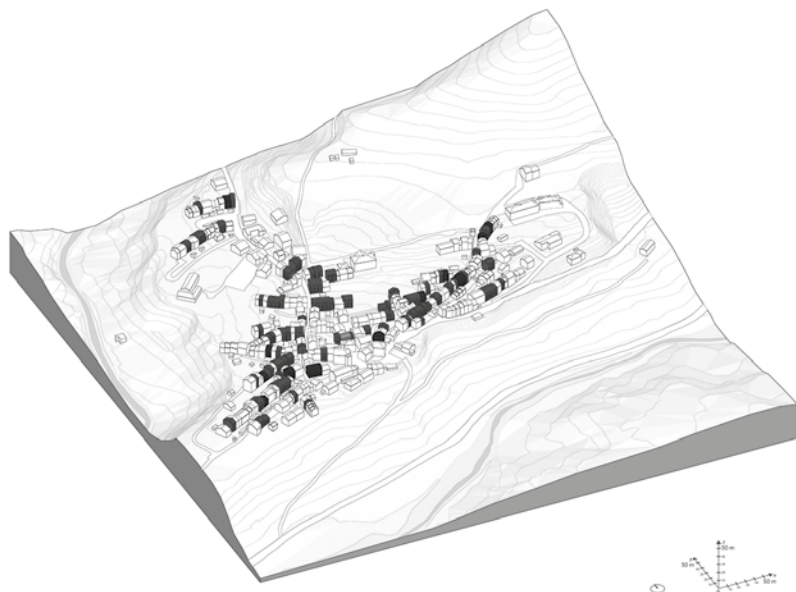
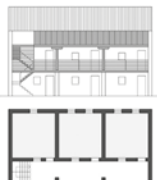


FIGURA 02

Principali tipi di Daltz riscontrati ad Andreis.
A. Perugia 2024.

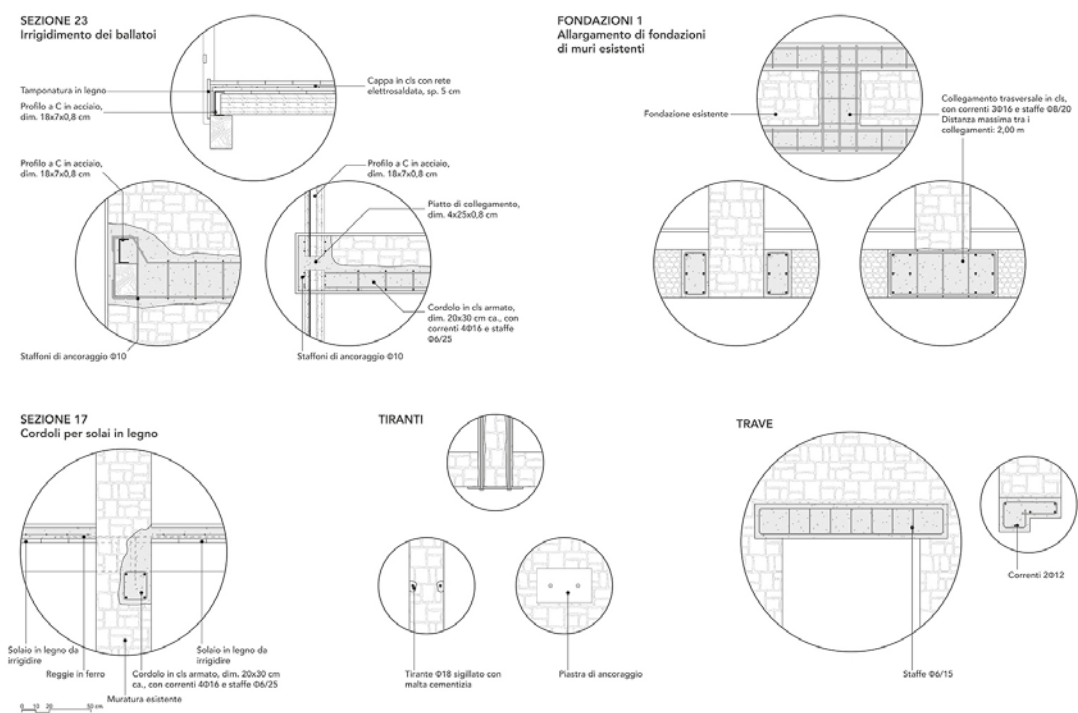


FIGURA 03

Alcuni dettagli costruttivi degli interventi post sisma 1976 eseguiti sui Daltz di Andreis. F. Orecchia, 2024.

	MAS 1	MAS 2	MAS 3	MAS 4	RC 1
numero	209	193	56	7	1
%	44,8	41,4	12,0	1,5	0,2

TABELLA 01

Distribuzione percentuale delle tipologie strutturali rilevate. M. Pauletta, 2024.



MAS₁



MAS₃



RC₁



MAS₂



MAS₄

FIGURA 04

Tipologie degli edifici rilevati in Andreis.
M. Pauletta, 2024.

Hazard parameters weighted values

	Earthquake - E	Flood - H	Fire - F	UHI - U	Multi-hazard - HM_{multi}
Regional hazard - Rig	0,9333	0,6000	0,5333	0,4400	2,5067
Local hazard - Ril	0,8000	0,7333	0,5000	0,4000	2,4333
Total sum hazard - TH_{event}	1,7333	1,3333	1,0333	0,8400	
Total average hazard - TH_{event}	0,8667	0,6667	0,5167	0,4200	

Vulnerability and exposure parameters weighted values

	Earthquake - E	Flood - H	Fire - F	UHI - U	Multi-hazard - HV_{multi}
Formal Vulnerability - Vu_{for}	0,8000	0,4000	0,8000	0,4250	2,4250
Exposure - E	0,4000	0,4000	0,6667	0,4000	1,8667
Structural Vulnerability - Vu_{str}	0,6364	0,4000	0,6000	0,2000	1,8364
Total sum Vulnerability - TV_{event}	1,8364	1,2000	2,0667	1,0250	
Total average Vulnerability - TV_{event}	0,6121	0,4000	0,6889	0,3417	

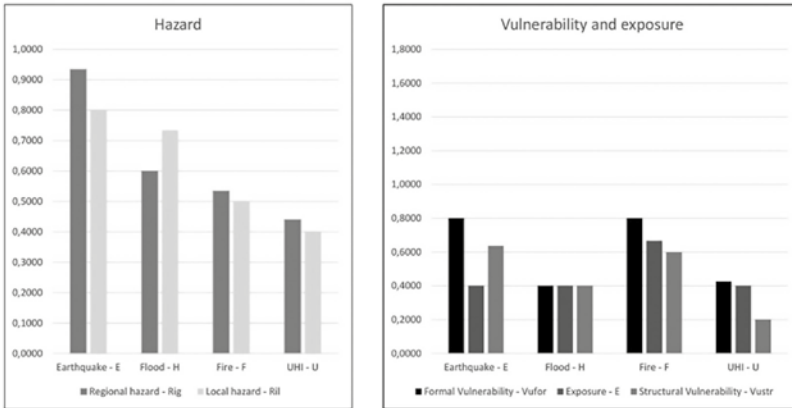
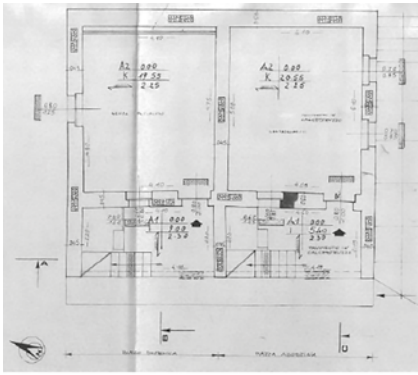


FIGURA 05

Indicatori di parametri e componenti del modello di rischio riferiti al caso studio.

A. Biasi, M. Pauletta, I. Zamboni, G. Frappa, 2025.



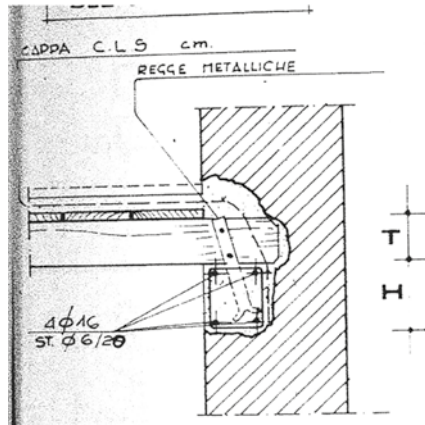
(a)



(c)



(b)



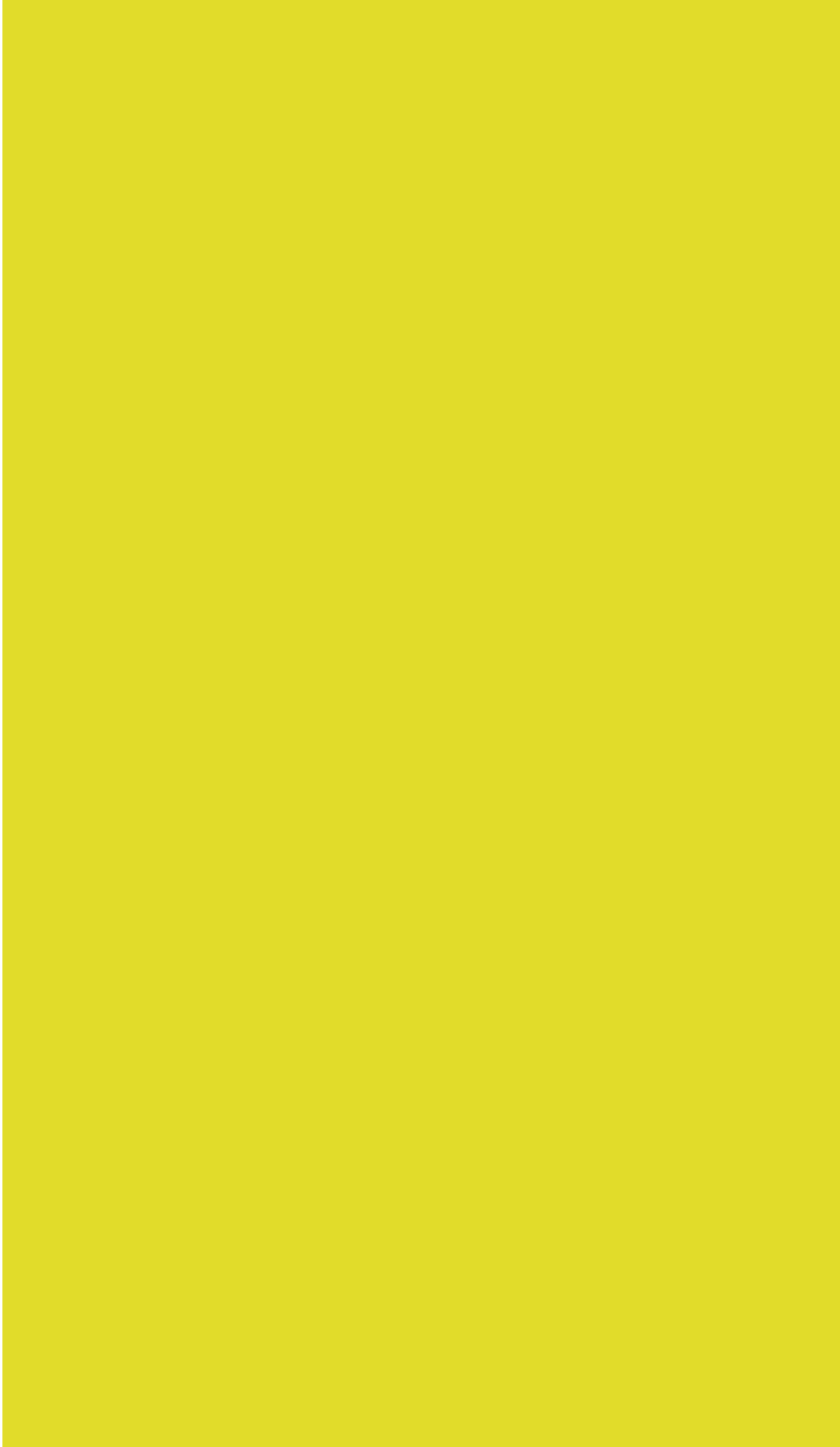
(d)

FIGURA 06

Caratteristiche formali e strutturali del caso studio: (a) pianta piano terra; (b) facciata ovest; (c) facciata sud; (d) dettaglio dell'intervento di rinforzo del solaio. Archivio Comune di Andreis (PN), 1981. I. Zamboni, 2024.



novembre 2025
Anteferma Open Books



Volume 3

Spoke 4
City, Architecture,
Sustainable design

A cura di

Pierpaolo Campostrini
Sara Di Resta
Paolo Faccio
Laura Rappa
Enrico Rinaldi

Il volume dello Spoke 4 “Città, Architettura e Design Sostenibile” – RT2 – Attività “Heritage, recovery, conservation” racchiude i risultati del progetto iNEST nell’ambito della conservazione e della mitigazione del rischio del patrimonio culturale in rapporto alle sfide legate alla sostenibilità. Il gruppo di ricerca è composto dall’Università Iuav di Venezia, da CORILA – Consorzio per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia, dall’Università degli Studi di Udine, dall’Università degli studi di Trieste e dall’Università degli Studi di Padova, con il supporto di Co.New Tech. Srl, azienda vincitrice dalla prima tornata dei bandi a cascata. In questa pubblicazione trovano spazio anche gli esiti di lavori condotti da gruppi di ricerca afferenti ad enti ed istituzioni del territorio nazionale e internazionale quali ‘Alma Mater Studiorum’ Università di Bologna, CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima, Fondazione LINKS, Politecnico di Torino, Fondazione PIN, Università Ca’ Foscari di Venezia, Università di Bari Aldo Moro, Università di Perugia, IIT Istituto Italiano di Tecnologia e UPV Universitat Politècnica de València, con cui il coordinamento dell’Attività “Heritage, recovery, conservation” ha stretto collaborazioni e supportato scambi al fine di arricchire conoscenze e scenari che interessano la transizione verde nella conservazione e nella gestione del patrimonio culturale.