

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

**Applicazione della scheda CARTIS e
valutazione della vulnerabilità sismica e
all'incendio degli edifici pubblici nel
comune di Urbino**



Relatore

Prof. Ing. Alessandro P. Fantilli

Correlatore

Prof. Ing. Bernardino Chiaia

Candidato

Chiara Annibali

Anno Accademico 2017-2018

Sommario

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO 1. VULNERABILITA' DI UN EDIFICIO	5
1.1. Rischio Sismico	6
1.1.1. Pericolosità Sismica	7
1.1.2. Valutazione dell'esposizione	12
1.1.3. Vulnerabilità sismica	13
1.2. Rischio all'incendio	17
1.2.1. Fasi dell'incendio	19
1.2.1. Principi generali di prevenzione	20
1.2.3. Rischio all'incendio	21
CAPITOLO 2. LA SCHEDA CARTIS	24
2.1. Schede di primo livello GNDT-CNR	25
2.2. Schede di secondo livello GNDT-CNR	28
2.3. Schede AeDES	31
2.4. Curve di fragilità	36
2.5. Scheda CARTIS	37
2.5.1 Criteri generali di compilazione	38
2.5.2 Criteri per la delimitazione dei comparti	39
2.5.3 Istruzioni alla compilazione della scheda CARTIS 2014	41
CAPITOLO 3. APPLICAZIONE DELLA SCHEDA CARTIS ALLA CITTA' DI URBINO	65
3.1 Dati ISTAT	66
3.2.1 Distribuzione della sismicità nel territorio marchigiano	74
3.3 Compilazione della scheda CARTIS applicata a Urbino	80
3.3.1 Comparto 1 – Centro storico	82
3.3.2 Comparto 2 – Area di espansione successiva al dopoguerra	86
3.3.3 Comparto 3 – Zona di espansione	94
CAPITOLO 4. ANTICHI PALAZZI DI CIVILE ABITAZIONE ORA APERTI AL PUBBLICO	100
4.1 Palazzo Bonaventura-Odasi	102
4.1.1 Interventi sul sistema fondale	103
4.1.2 Interventi di consolidamento statico	105
4.1.3 Interventi prevenzione incendio	110
CAPITOLO 5. ANALISI STATICA LINEARE, DINAMICA LINEARE E VERIFICA ALL'INCENDIO DI PALAZZO ODASI	113

<i>5.1 Modellazione della struttura</i>	115
<i>5.2 Analisi dei carichi verticali</i>	123
<i>5.3 Analisi dell'azione sismica</i>	126
<i>5.3.1 Dati generali</i>	126
<i>5.3.2 Analisi dinamica lineare</i>	130
<i>5.3.2 Analisi statica lineare</i>	133
<i>5.3.4 Calcolo delle sollecitazioni</i>	135
<i>5.3.5 Verifica delle murature</i>	138
<i>5.4 Verifica all'incendio</i>	139
<i>5.4.1 Modellazione e verifica tramite Dolmen 18</i>	140
<i>5.5 Statistica dei risultati ottenuti</i>	146
CAPITOLO 6. METODI DI CONTEMPORANEO MIGLIORAMENTO SISMICO E ALL'INCENDIO DI STRUTTURE IN MURATURA PORTANTE	154
<i>6.1 Intonaco armato Fibrebuild</i>	156
<i>6.2 Intonaco armato Weber</i>	157
CONCLUSIONI	158
BIBLIOGRAFIA	160
SITOGRAFIA	161
APPENDICE A. Schede CARTIS di primo e secondo livello compilate per il comune di Urbino	162
APPENDICE B. Piante e Sezioni di Palazzo Bonaventura-Odasi	351
APPENDICE C. Verifiche termiche e meccaniche all'incendio di ogni elemento orizzontale e verticale di Palazzo Bonaventura – Odasi	355
APPENDICE D. Schede tecniche degli intonaci armati proposti	388

INTRODUZIONE

La vulnerabilità sismica di un edificio corrisponde alla sua suscettibilità ad essere danneggiato da un evento sismico. E' fondamentale definirlo all'interno delle analisi di rischio sismico e nella valutazione di scenari di danno per sismi di varia intensità. La valutazione della vulnerabilità permette di ideare possibili interventi di miglioramento, o semplicemente locali che possano consentire una longevità maggiore della struttura. Se valutata su tipologie piuttosto diffuse sul nostro territorio, tramite la stima della vulnerabilità sismica è possibile pianificare politiche di prevenzione e analisi di rischio a larga scala.

Si è deciso di applicare la scheda CARTIS, la quale permette un'accurata analisi della vulnerabilità su scala urbana, alla città di Urbino città marchigiana patrimonio dell'UNESCO, situata in zona sismica 2 e investita dal terremoto del 24 agosto 2016. Per compilare la scheda è stato necessario individuare le tipologie edilizie che costituiscono la città, per poi mettere in evidenza gli aspetti vulnerabili di ciascuna costruzione; in seguito il fabbricato più rappresentativo di ogni tipologia è stato analizzato seguendo la scheda di secondo livello.

La città di Urbino è composta sostanzialmente da edifici in muratura e cemento armato, i primi in percentuale maggiore, e costruiti prevalentemente in epoca anteriore al 1500; allo stesso tempo la periferia della città contiene un elevato numero di abitazioni in cemento armato, costruite soprattutto a partire dagli anni '70, periodo in cui la città fu investita da un'elevata prosperità economica. Tramite vari sopralluoghi e incontri con i tecnici comunali sono stati definiti i comparti, e si è notato come una tipologia fondamentale non potesse essere inserita nella scheda, si tratta della tipologia a cui corrispondono gli edifici storici ora aperti al pubblico. Queste costruzioni non possono essere valutate nella scheda CARTIS in quanto palazzi storici, anche se racchiudono una grande percentuale presente nel centro storico di Urbino. Per questo motivo si è deciso di inserire la tipologia fittizia nel primo comparto analizzato '*C01-CENTRO STORICO*', individuandone con la scheda di secondo livello un edificio rappresentativo. Si tratta di Palazzo Bonaventura-Odasi, fabbricato ora divenuto museo, ma che all'epoca faceva parte degli edifici di civile abitazione della città.

Si è deciso di renderlo caso studio, analizzando la struttura e modellandola sul software di calcolo *DOLMEN*, che ha permesso di generare l'analisi statica lineare, dinamica lineare e di resistenza al fuoco. Dato che la ristrutturazione dell'edificio è avvenuta nei primi anni

2000, le verifiche sono state effettuate tramite l'ausilio del metodo delle tensioni ammissibili. Si è deciso quindi di svolgere le varie analisi tramite il software aggiornato alle vigenti *NTC 2018* e di conseguenza secondo il metodo degli stati limite, controllando che l'edificio risultasse comunque verificato. Inoltre, sono state sviluppate le verifiche all'incendio sia degli elementi orizzontali sia degli elementi verticali, concludendo con una statistica degli elementi che risultano verificati o meno a fuoco e azione sismica, e con un metodo di miglioramento sismico che potesse allo stesso tempo rendere la struttura più resistente all'incendio.

CAPITOLO 1. VULNERABILITA' DI UN EDIFICIO

1.1. Rischio Sismico

Per vulnerabilità sismica di un edificio si intende la sua suscettibilità ad essere danneggiato a causa di una o più scosse di terremoto, rappresenta un punto fondamentale nella definizione del rischio sismico e nella valutazione del grado di danno generato [1]. Occorre però prima definire concetti di rischio sismico, pericolosità sismica ed esposizione.

Il rischio sismico R è la stima delle perdite complessive di vite umane, beni economici, valori culturali, volume edilizio, che possono interessare una determinata area in un definito periodo di tempo, a causa di un evento sismico. Si tratta della probabilità che si raggiunga un livello di perdita predefinito in un certo range di tempo, in cui per livello di perdita si intende il costo da sostenere per far sì che il sistema danneggiato o distrutto dal terremoto possa ritornare alle condizioni anteriori all'evento [2]. L'Italia è caratterizzata da un elevato rischio sismico, valutato considerando gli elementi definiti in precedenza, in particolare in riferimento agli ultimi eventi catastrofici che hanno investito il centro Italia negli scorsi anni. Si può affermare perciò che la penisola possiede una pericolosità sismica medio-alta, una vulnerabilità elevata e un'esposizione altissima. Si può esprimere la definizione di rischio sismico concettualmente secondo la relazione espressa in seguito:

$$\text{Rischio sismico} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione}$$

In cui per *Pericolosità* si intende la probabilità che un evento sismico si verifichi in una determinata area e in un certo periodo di tempo; per *Vulnerabilità* la suscettibilità di un edificio ad essere danneggiato a causa di una o più scosse di terremoto; per *Esposizione* il numero di unità di ogni elemento a rischio quali vite umane o insediamenti [3].

Il Rischio sismico corrisponde alla probabilità di collasso dell'edificio in un determinato intervallo temporale. Se la funzione di stato Z è negativa, la condizione limite è superata trattandosi di collasso o failure, se pari a 0 è corrispondente alla condizione limite, se positiva indica una condizione di sopravvivenza.

$$Z = \begin{cases} > 0 \Rightarrow \text{Sopravvivenza} \\ = 0 \Rightarrow \text{Limite} \\ < 0 \Rightarrow \text{Collasso} \end{cases}$$

Se la funzione di stato Z è negativa corrisponde alla probabilità di collasso (failure) P_f , mentre la probabilità di sopravvivenza rispetto allo stato limite considerato (survival) è definita come $P_s = 1 - P_f$, corrispondente all'affidabilità strutturale [2].

Dal punto di vista matematico il rischio sismico può essere espresso attraverso le seguenti relazioni:

$$H = P(m_g) \quad (1)$$

$$V = P(d_i) = \sum_g P\left(\frac{d_i}{m_g}\right) \cdot P(m_g) \quad (2)$$

$$R = P(l_j) = \sum_j P\left(\frac{l_j}{d_i}\right) \cdot P(d_i) = \sum_j \sum_g P\left(\frac{l_k}{d_i}\right) \cdot P\left(\frac{d_i}{m_g}\right) \cdot P(m_g) \quad (3)$$

Vengono introdotte in primo luogo la *Pericolosità* (1), e la *Vulnerabilità* (2) quale sommatoria che considera i vari eventi sismici e dunque le diverse risposte in termini di vulnerabilità. Infine tramite l'equazione (3) viene calcolato il Rischio sismico, tenendo conto anche dell'effetto dell'*Esposizione*.

L'Italia sta cercando di ridurre il Rischio sismico, soprattutto in seguito ai tragici eventi sismici che hanno investito la penisola. Per fare ciò occorre diminuire sensibilmente i tre fattori precedentemente descritti, proponendo incentivi e migliorando l'informazione da parte della protezione civile tramite l'utilizzo di reti accelometriche e di monitoraggio.

1.1.1. Pericolosità Sismica

La pericolosità sismica è legata alla frequenza con la quale l'evento sismico si ripete e alle caratteristiche geologiche della zona in cui si verifica; si tratta della definizione delle potenzialità distruttive del terremoto.

La pericolosità sismica è uno strumento di previsione del grado di severità dei sismi attesi, è possibile misurarla tramite *scale strumentali*, che misurano oggettivamente la forza del terremoto o tramite *scale macrosismiche*, le quali misurano soggettivamente gli effetti generati dal sisma. Le scale strumentali si basano su vari parametri relativi al moto del suolo, tra cui: PGA (Peak Ground Acceleration), ovvero la massima accelerazione del suolo indotta dal terremoto; magnitudo locale o Richter (M); velocità spettrale. Sono grandezze meccaniche di immediato utilizzo, ma presentano come svantaggio il fatto che essendo registrazioni strumentali recenti non hanno riscontro con i terremoti avvenuti in passato. Le scale macrosismiche invece non sono molto accurate ma tramite il danneggiamento osservato forniscono una stima dell'intensità media del sisma e soprattutto, al contrario dell'altra categoria di scale descritta, possono trattare terremoti passati grazie alla sismicità storica [2]. Gli studi di pericolosità sismica sono utilizzati dunque anche nelle analisi del

sito, per definire opere critiche in materia di sicurezza, rischio e importanza strategica; stabiliscono la probabilità del verificarsi di un terremoto di magnitudo o PGA maggiore al valore di soglia definito dagli organi politici/decisionali [3].

Esistono due tipi di approcci alla valutazione della pericolosità sismica: *deterministico* e *probabilistico*. Il primo è stato utilizzato frequentemente durante le analisi in sito e consiste nello studio dei danni generati dalle azioni sismiche che storicamente hanno investito una determinata zona, tramite la ricostruzione di scenari di danno per definire la frequenza di ripetizione di scosse di pari intensità. A questo metodo viene però preferito quello probabilistico in quanto il metodo deterministico richiede una disponibilità di informazioni complete riguardo la sismicità locale e i risanamenti, informazioni difficili da reperire. Nel secondo metodo (*probabilistico*), la pericolosità è espressa come la probabilità che si verifichi un evento che superi un livello di intensità I , magnitudo M o accelerazione massima del suolo PGA, in un determinato periodo di tempo τ . Il metodo probabilistico per eccellenza è quello di Cornell, il quale lo definì nel 1968 – USA. Il metodo prevede che ‘vengano individuate nel territorio le zone responsabili degli eventi sismici, che sia quantificato il loro grado di attività e che si calcolino gli effetti provocati da tali aree in relazione alla distanza dall’epicentro’ [2]. E’ considerato valido nel caso in cui il sisma si verifichi in modo casuale e in una certa zona sismogenetica. Perciò il metodo considera i terremoti come eventi casuali; non tiene conto del periodo di tempo tra un evento sismico e un altro; non è legato alla morfologia del suolo e alla direzione di propagazione delle onde, adotta piuttosto un modello omogeneo ed isotropo sul terreno; si valuta il pericolo considerando come terreno quello costituito da roccia con superficie orizzontale, non soffermandosi sulle condizioni locali fondamentali.

Il metodo probabilistico di Cornell deve avere a disposizione: un *modello strutturale*, una *carta neotettonica*, un *catalogo dei terremoti*, un *modello di attuazione*. Il *modello strutturale* permette di comprendere l’andamento delle strutture geologiche, le quali possono distinguersi in superficiali o profonde. La *carta neotettonica* evidenzia, invece, i movimenti della crosta terrestre negli ultimi milioni di anni. Il *catalogo dei terremoti* permette di definire la distribuzione spaziale e temporale dei vari sisma. Infine, il *modello di attenuazione* consente di conoscere la natura dello scuotimento generato dagli eventi sismici delle aree limitrofe. Inoltre, il metodo prevede vari passaggi: in primo luogo la *determinazione delle zone sorgenti*, effettuando una zonazione sismogenetica. E’ possibile definirla delimitando aree omogenee dal punto di vista sismico, essendo a conoscenza dell’andamento delle strutture geologiche, dei movimenti avvenuti negli ultimi periodi, dei meccanismi focali. In seguito Cornell suggerisce di passare alla definizione di una *legge di*

occorrenza relativa ad ogni zona, a cui corrispondono vari eventi sismici. Si formula la legge di occorrenza o legge di Gutenberg – Richter nel 1954.

$$\log(N) = a - b \cdot I$$

La formula fornisce una relazione tra il numero degli eventi sismici N , l'intensità macrosismica I , e tiene conto delle costanti a e b , le quali dipendono dal tipo di territorio preso in considerazione. Per eventi di periodo di ritorno breve si hanno eventi di bassa magnitudo, per cui la frequenza risulta maggiore, mentre il cambiamento della zona sismogenetica comporta una variazione della costante b , mutando di conseguenza la pendenza della retta che esprime la relazione di Gutenberg- Richter. Si procede con la determinazione di una *legge di attenuazione*. Si definisce una relazione che riproduce gli effetti dovuti a terremoti del passato, questa è valida per tutto il territorio. Si costituisce un modello che mostra la variazione dell'intensità macrosismica e degli effetti provocati a seconda che ci si allontani o meno dall'epicentro. Si nota come gli effetti diminuiscano all'allontanarsi dell'epicentro, anche se in determinate condizioni geologiche e morfologiche possono verificarsi amplificazioni non rappresentabili tramite la legge. In seguito si passa al *calcolo della pericolosità*, quest'ultimo si ricava tramite un programma di calcolo che utilizza le informazioni precedentemente descritte. Si determinano valori associati a ogni punto georeferenziato, ovvero a cui corrispondono precise coordinate geografiche. Per ogni zona e per ogni punto del territorio si definisce un valore di pericolosità, considerando la legge di attenuazione e tramite la sommatoria di ogni contributo di sismicità prodotto nelle differenti zone sismogenetiche. Infine si conclude con la realizzazione della *carta della pericolosità*. Le curve variano secondo ogni zona territoriale, dato che la storia degli eventi sismici subiti negli anni risulta essere differente di luogo in luogo. Si determinano tramite studi statistici che hanno alla base i dati dei terremoti passati. In Italia il sito dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) permette di ottenere le mappe interattive di pericolosità sismica, inserendo nell'apposita sezione 'navigazione' le coordinate corrispondenti al comune di riferimento [2]. La mappa è in grado di mostrare la pericolosità sismica presente in Italia, definendo i diversi valori di accelerazione spettrale a periodo prefissato PGA.

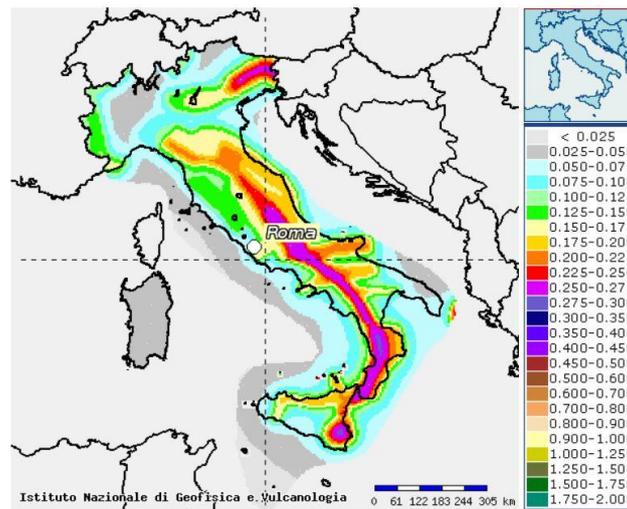


Fig. 1.1 Mappa di pericolosità sismica nel territorio nazionale

Considerando nello specifico la città di Urbino, in Fig. 1.2 si nota come i valori assegnati ai riquadri prossimi alle coordinate, le quali generano una sorta di reticolo, riguardino valori di PGA compresi tra 0,150-0,175 e 0,175-0,200. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, come in questo caso, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto siano stati calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto analizzato, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

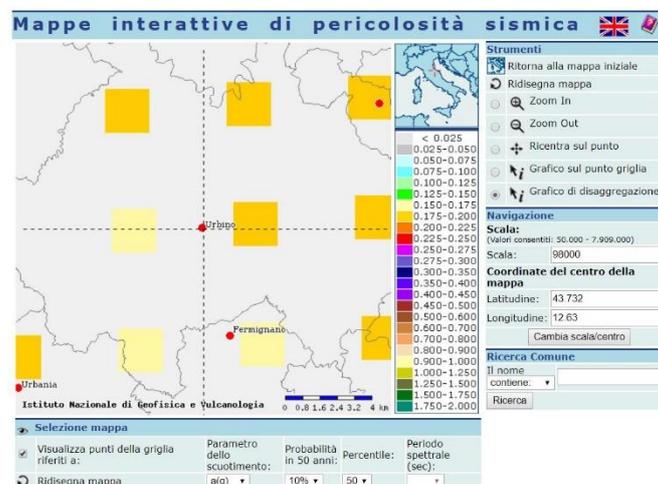


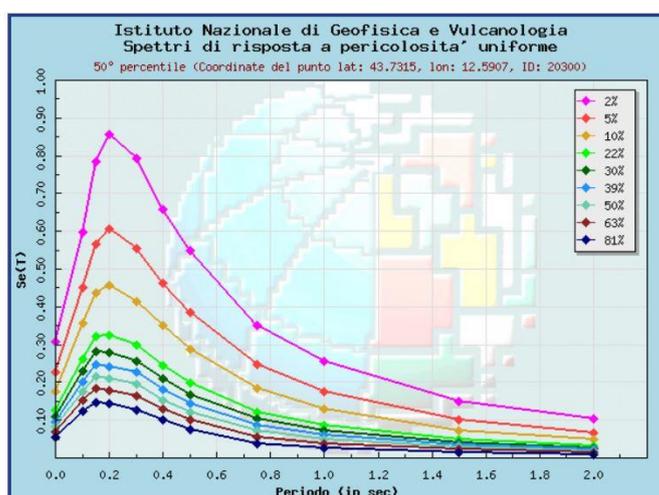
Fig. 1.2 Coordinate ID

I 4 ID di riferimento attorno la città di Urbino presentano le seguenti coordinate:

Tab. 1.1 Coordinate ID

	ID	Latitudine	Longitudine
Punto 1	20300	43,7315	12,5907
Punto 2	20301	43,7320	12,6599
Punto 3	20522	43,6814	12,5915
Punto 4	20523	43,6820	12,6605

Il sito dell'INGV permette di ottenere per ogni ID di riferimento il grafico che mette in relazione il periodo con l'accelerazione in una determinata unità di tempo, e gli spettri di risposta a pericolosità uniforme, come rappresentato di seguito nel caso dell'ID di riferimento 20300 in Fig. 1.3.



Prob. di ecc. in 50 anni	Spettri di risposta a pericolosità uniforme										
	50° percentile (Coordinate del punto lat: 43.7315, lon: 12.5907, ID: 20300)										
	Periodo (in sec)										
	0.00	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
2%	0.3073	0.5986	0.7833	0.8561	0.7923	0.6589	0.5483	0.3500	0.2545	0.1483	0.1035
5%	0.2257	0.4519	0.5651	0.6053	0.5547	0.4637	0.3853	0.2464	0.1753	0.1003	0.0667
10%	0.1741	0.3567	0.4372	0.4578	0.4144	0.3495	0.2868	0.1844	0.1290	0.0721	0.0494
22%	0.1252	0.2620	0.3211	0.3241	0.2979	0.2431	0.1975	0.1213	0.0857	0.0485	0.0326
30%	0.1084	0.2289	0.2803	0.2791	0.2570	0.2099	0.1681	0.1033	0.0719	0.0394	0.0272
39%	0.0947	0.2021	0.2464	0.2420	0.2266	0.1801	0.1424	0.0875	0.0599	0.0337	0.0224
50%	0.0820	0.1758	0.2143	0.2106	0.1943	0.1533	0.1212	0.0712	0.0490	0.0278	0.0182
63%	0.0703	0.1523	0.1836	0.1782	0.1643	0.1294	0.1018	0.0556	0.0382	0.0219	0.0144
81%	0.0557	0.1225	0.1464	0.1425	0.1267	0.0999	0.0741	0.0388	0.0260	0.0154	0.0097

Fig. 1.3 Spettri di risposta a pericolosità uniforme ID 20300

Dopo aver calcolato le curve di pericolosità e aver definito una probabilità di superamento è possibile determinare gli spettri di accelerazione e di spostamento. Gli spettri di progetto elastici si possono individuare attraverso il programma Opensignal.

Nella sezione “Design Spectrum” è possibile progettare lo spettro definendo in primo luogo la normativa di riferimento NTC 2008, per poi inserire:

- le coordinate di longitudine e latitudine, poi espresse in gradi sessagesimali.
- lo stato limite al quale si riferisce (SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita oppure SLD – Stato Limite di Danno),
- il fattore di struttura,
- vita nominale,
- coefficiente d'uso,
- il coefficiente di smorzamento ξ , solitamente pari a 5%.

1.1.2. Valutazione dell'esposizione

Per esposizione di una zona si intende natura, qualità e quantità degli edifici esposti a rischio. Consiste nella definizione dei beni, delle funzioni e del numero di abitanti che potrebbero essere coinvolti durante il terremoto, tenendo conto della loro capacità di reazione. ‘Per descrivere completamente l’insieme degli elementi che concorrono a definire il rischio a cui una comunità è esposta, è necessario analizzare la distribuzione, la struttura e le condizioni socio-economiche della popolazione insediata; la quantità e le funzioni del patrimonio edilizio residenziale, pubblico e produttivo; il sistema delle infrastrutture; l’insieme delle attività economiche presenti e le relazioni dell’area esaminata con quelle circostanti’ [2]. Poiché le procedure per determinare l’esposizione risultano essere piuttosto complesse, si ricorre a procedure semplificate, così da definire i criteri di priorità per interventi successivi agli eventi. Uno di questi metodi definisce un fattore (indice di esposizione I_e), determinato tramite il prodotto tra I_u e I_f :

$$I_e = I_u \cdot I_f$$

In cui:

- I_u (indice di utenza) è a sua definibile tramite la relazione $I_u = (I_{ev}, I_{co})$, dove l’indice I_{ev} valuta il comportamento delle persone che occupano l’edificio, ovvero la loro capacità di reazione. Quest’ultima dipende dal fatto che gli individui siano bambini o anziani, dalle condizioni fisiche e dalla libertà motoria che possono assumere. I_{co} è invece l’indice di affollamento, e indica il grado di affollamento

presente nell'edificio; è il prodotto tra il periodo di utilizzazione P_u e la densità di utenza D_u . In cui P_u è 'il rapporto tra il numero di ore annue di numero di ore annue di utilizzo ed il numero totale di ore contenute in un anno ($24h \times 365g = 8760h$), mentre la densità di utenza viene calcolata come rapporto tra il numero di utenti ed il volume dell'edificio, sulla base delle notizie fornite dalle schede di censimento (in qualche caso si considera lo standard di 100 mc). Il numero di piani dell'edificio influisce sulla facilità di evacuazione, a prescindere dalle caratteristiche degli utenti' [2].

- I_f (indice di funzione) è pari al prodotto tra U_{e1} , U_{e2} e B_u . In cui il primo termine dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio relativamente alle condizioni antecedenti l'emergenza; il secondo dipende dall'uso in seconda emergenza; il terzo caratterizza il bacino di utenza. A seconda del parametro utilizzato gli edifici si distinguono in *essenziali*, *importanti* e *rilevanti* (a cui corrisponde per ogni classe un valore decrescente di indice). Gli edifici *essenziali* sono caratterizzati da indici alti e corrispondono a destinazioni d'uso di emergenza, quali ospedali, municipi, caserme, comunità montane. Le strutture *importanti* con valori medi di coefficienti si riferiscono a scuole e autoparchi. Infine gli edifici rilevanti presentano valori minimi e trattano uffici giudiziari, carceri, sedi postali, uffici [2].

1.1.3. Vulnerabilità sismica

La vulnerabilità sismica di un edificio corrisponde alla sua suscettibilità ad essere danneggiato da un evento sismico. E' fondamentale definirlo all'interno delle analisi di rischio sismico e nella valutazione di scenari di danno per sismi di varia intensità. Concretamente, la vulnerabilità sismica si esprime tramite matrici di probabilità di danno DPM, le quali sono distribuzioni condizionali del danno ricevuto dal terremoto oppure tramite curve di fragilità. Le DPM si calcolano quando l'intensità è espressa tramite intensità macrosismica, mentre le curve di fragilità forniscono il valore medio di danno tramite accelerazione di picco, intensità spettrale e intensità macrosismiche. La vulnerabilità sismica è determinabile tramite le schede di primo e di secondo livello, come le schede CARTIS. Vengono applicati approcci diversi ed effettuate varie comparazioni.

Le schede di primo livello determinano classi di vulnerabilità a cui corrispondono le varie tipologie edilizie; le classi sono inserite nelle scale macrosismiche e nella scala MSK per migliorare i rilievi macrosismici posteriori al terremoto, e poterne quindi valutare l'intensità. La European Macroseismic Scale – EMS (versione 1998) permette, invece, di

definire le classi di vulnerabilità a fini macrosismici e ha permesso di migliorarne notevolmente la classificazione. L'EMS evidenzia le incertezze di attribuzione alla classe degli edifici tradizionali, includendovi anche le strutture progettate con criteri antisismici (non presente nella scala MSK) ed estendendo l'intervallo delle classi dalle 3 della scala MSK (A – B – C) a: A – B – C – D – E – F. Restano però alcuni problemi da risolvere: sono ampi i margini di giudizio nell'inserimento delle tipologie strutturali all'interno delle classi. Ciò è dovuto da una parte alla generalità della scala macrosismica internazionale, la quale vale in zone notevolmente differenti tra loro, e dall'altra al fine della divisione delle classi, legate alle valutazioni macrosismiche del grado del terremoto. In riferimento a ogni classe le scale MSK ed EMS permettono di ottenere le distribuzioni del danno, determinando 5 livelli di danneggiamento (oltre al danno nullo) per ogni intensità sismica formulata nella medesima scala. Anche se sono stati conseguiti diversi miglioramenti riguardo il perfezionamento della scala EMS, l'articolazione di quest'ultima e della scala MSK risulta ancora grossolana. Per questo motivo sono stati generati algoritmi e si è cercato di migliorare le leggi di distribuzione del danno, in seguito alle registrazioni ottenute da sismi violenti. Ciò ha permesso di definire una distribuzione probabilistica chiamata distribuzione binomiale, questa ha capacità di adattamento (in seguito alla variazione di un solo parametro) alle diverse situazioni verificatesi nel terremoto del 1980 in Campania, Basilicata e Puglia e in quello del 1984 in Abruzzo e Molise.

Le schede di secondo livello consentono, invece, di ottenere una valutazione puntuale della vulnerabilità struttura per struttura, tramite vari punteggi:

- Tra 0 e 100 per gli edifici in muratura
- Tra – 25 e 100 per gli edifici in cemento armato.

I valori crescono a seconda dell'incremento del danno subito. La funzione però non esprime il danneggiamento in funzione del punteggio ottenuto riguardo vulnerabilità e intensità sismica, perciò non è deterministica. Il tutto a causa delle incertezze dovute alla determinazione delle caratteristiche strutturali degli elementi analizzati, alla variazione del comportamento dell'edificio in seguito al sisma, all'aleatorietà del terremoto, le cui caratteristiche non si possono determinare solo attraverso il valore di intensità preso in considerazione e gli eventuali effetti di amplificazione locali [1].

Inoltre, la vulnerabilità sismica può distinguersi in:

- Vulnerabilità diretta: definisce l'orientamento di un edificio a subire danni in seguito al sisma;

- Vulnerabilità indotta: determinata tramite il livello di crisi indotto dal collasso di un edificio;
- Vulnerabilità differita: definisce gli effetti successivi all'evento sismico e alla prima emergenza.

Occorre scegliere un parametro che possa identificare azione sismica e danno. Per la prima si può prendere in considerazione l'intensità macrosismica, molto vantaggiosa da utilizzare nota la corrispondenza tra scala di intensità e danni provocati dal sisma. Purtroppo però, è poco vantaggiosa per la stima dei danni dato che non è facilmente correlabile ai dati di tipo spettrale che determinano la pericolosità. Dunque è più opportuno utilizzare le grandezze spettrali, le quali permettono una chiara valutazione del danno dal punto di vista meccanico. Il danno è invece definito in termini di costo economico o indici. Secondo il primo si tratta di costo fondamentale per il ripristino dell'edificio, solitamente corrisponde al costo della nuova costruzione; nel secondo caso si utilizzano indici qualitativi o quantitativi, che permettano anche in questa situazione di esprimere il danneggiamento complessivo dell'abitazione tramite un unico parametro convertibile in termini economici. E' importante poi definire i metodi per la stima della vulnerabilità, che possono essere classificati in primo luogo nel seguente modo: *metodi diretti, metodi indiretti, metodi convenzionali*.

1. I *metodi diretti* definiscono il risultato direttamente come previsione del danneggiamento dovuto al sisma.
2. I *metodi indiretti* forniscono una relazione tra danno e sisma dopo aver determinato l'indice di vulnerabilità V.
3. I *metodi convenzionali* (di tipo euristico) confrontano strutture diverse situate in zone avente la medesima sismicità, sono definite di tipo euristico poiché forniscono un unico indice di vulnerabilità non associabile a una previsione di danneggiamento (come nel caso dei metodi indiretti).

Come secondo metodo di classificazione della vulnerabilità sismica si possono definire i metodi quantitativi e i metodi qualitativi.

4. I *metodi quantitativi* determinano il risultato sotto forma di danneggiamento in forma probabilistica o deterministica.
5. I *metodi qualitativi* definiscono la vulnerabilità classificandola come basse media o alta.

Infine, come ultimo metodo di classificazione si distinguono *metodi meccanici, metodi empirici, metodi basati sul giudizio degli esperti*.

6. I *metodi meccanici* valutano il danno attraverso metodi meccanico analitici, tramite un'analisi della struttura non lineare. Per danno si intende il raggiungimento di uno stato limite definibile come rotazione limite o meccanismo di collasso della costruzione, l'azione sismica invece è definita come accelerazione massima al suolo (PGA). E' un metodo applicabile ad edifici di cui si ha una conoscenza adeguata, e tende a valutare anche la vulnerabilità di edifici in cemento armato. Presenta come limite il fatto di 'non raggiungere un giusto equilibrio tra la raffinatezza del modello meccanico riferito alla singola struttura e l'impegno computazionale che ne deriva' [2].
7. I metodi empirici sono più diffusi ma presentano un'accuratezza che dipende dalla disponibilità di risultati talora insufficienti, soprattutto nel caso delle costruzioni in cemento armato. Il metodo precedentemente descritto valuta la vulnerabilità di una singola costruzione dettagliatamente, invece i metodi empirici si riferiscono ad aggregati di edifici e si attengono alle classi, la cui definizione si basa ad esempio sulla tipologia costruttiva, regolarità in pianta e in altezza, anno in cui è stato costruito. Ogni classe corrisponde a una matrice di probabilità di danneggiamento e a una curva di vulnerabilità, le quali vengono verificate tramite un'elaborazione statistica dei danni generati dai sismi avvenuti in precedenza, chiamata analisi a posteriori. Così attribuendo un edificio a una classe, conseguentemente gli si assegna anche una curva di vulnerabilità, e matrice di probabilità di danno relative.
8. I metodi basati sul giudizio degli esperti, attribuiscono ad ogni edificio un indice di vulnerabilità, quale valore ricavato tramite regole basate su indicatori che rappresentano la capacità di sopportare le azioni sismiche (efficienza di collegamenti, resistenza dei materiali, regolarità in pianta e altezza). In secondo luogo si assegna ogni indice di vulnerabilità a una curva o matrice di probabilità di danno. I metodi basati sul giudizio degli esperti non sono però meccanico analitici, quindi valutano il comportamento delle tipologie di costruzioni sulla base dell'esperienza e della conoscenza [2].

Le classi di vulnerabilità sono state definite in primo luogo in seguito al terremoto dell'Irpinia – Basilicata del 1980, in cui sono state messe a disposizione 38 000 schede di rilievo in riferimento a 41 comuni colpiti. Risultavano essere una prima versione delle schede di primo livello, anche se in forma più semplificata. Infatti le strutture erano distinte tra loro tramite 4 tipologie di struttura verticale e 4 tipologie di struttura orizzontale, che una volta combinate hanno permesso di raggiungere 13 tipologie [1].

Tab. 1.2 Tipologie verticali

Tipologie Verticali – Materiale (Tra parentesi l'indice delle schede GNDT)
Sacco (A), Pietra sbozzata (C), Pietre arrotondate (E)
Come sopra con rinforzi (B, D, F), Mattoni forati (M)
Blocchi di tufo o Pietre ben squadrate (G), Mattoni pieni o multiforo (L), Blocchi di calcestruzzo (inerti pesanti H, leggeri I), Mista (T)
Telai in c.a. non tamponati (P), Telai in c.a. con tamponature deboli (Q) o consistenti (R), Pareti in calcestruzzo armato (O), Pareti in calcestruzzo non armato (N)

Tab. 1.3 Tipologie orizzontali

Tipologie Orizzontali – Materiale, schema strutturale (Tra parentesi l'indice delle schede GNDT)
Volte (F), Miste volte-solai (H), Volte con catene (G), Miste volte solai con catene (I)
Legno spingenti (M), Miste spingenti (S), Legno (A), Legno poco spingenti (N), Legno con catene (B), Legno a spinta eliminata(O)
Acciaio spingenti (Q), Putrelle e voltine o tavelloni (C), Putrelle e voltine o tavelloni con catene (D), Acciaio non spingenti (R)
Laterocemento (E, P)

1.2. Rischio all'incendio

La propagazione di un incendio è possibile tramite tre fattori fondamentali che interagiscono tra loro, costituenti il triangolo del fuoco: presenza di un combustibile, ossigeno, energia di innesco. Quest'ultima può essere attivata in modo volontario (fiamma, scintilla, sigaretta) oppure involontario (corto circuito).

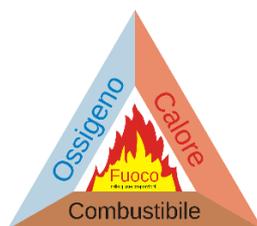


Fig. 1.4 Triangolo del fuoco

La resistenza al fuoco deve garantire la capacità portante delle strutture in caso di incendio, e capacità di compartimentazione. Possono essere distinti vari livelli di prestazione:

Tab. 1.4 Livelli di prestazione

Livello di prestazione	Descrizione
I	Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio.
IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Sono strettamente collegati i criteri di attribuzione alle costruzioni per ogni singolo livello di prestazione, si tratta dei criteri generalmente accettati per completare la classificazione.

Tab. 1.5 Criteri di attribuzione

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Opere da Costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate tutte le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti e strutturalmente separate da esse e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione; • adibite ad attività afferenti ad un solo responsabile dell'attività e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.
II	Opere da Costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate tutte le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti; • strutturalmente separate da altre opere da costruzione e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni alle stesse ovvero, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione; • adibite ad attività afferenti ad un solo responsabile dell'attività e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m²; • non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità; • aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV, V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Si determina se un edificio possiede una buona capacità di resistenza strutturale in caso di incendio studiando la capacità portante propria degli elementi strutturali presi singolarmente, di porzioni di struttura o del sistema costruttivo in totale. Comprendendo l'analisi delle condizioni di carico e di vincolo, e tenendo conto della possibile incidenza di materiali protettivi. E' opportuno considerare che le deformazioni ed espansioni imposte

o rese impossibili sono determinate dalle variazioni di temperatura causate dall'esposizione al fuoco. Ciò provoca sollecitazioni indirette, forze e momenti nei singoli elementi strutturali, i quali devono essere considerati a meno che non siano trascurabili o i requisiti di sicurezza all'incendio siano valutati tramite la curva nominale d'incendio. E' fondamentale nella progettazione combinare i carichi per azioni eccezionali, come previsto nelle NTC.

Gli elementi strutturali secondari sono verificabili studiando che il cedimento creato dall'incendio non comprometta: la capacità portante degli ulteriori elementi strutturali presenti nell'edificio, l'adeguatezza degli elementi costruttivi di compartimentazione, l'efficacia dei sistemi di protezione attiva, il funzionamento delle vie d'esodo, la sicurezza dei soccorritori. E' sufficiente che la capacità portante degli elementi strutturali secondari sia assicurata durante il periodo di tempo tale per cui tutte le persone raggiungano un luogo sicuro.

Le strutture di tipo leggero sono le strutture solitamente più vulnerabili in caso di incendio, a causa della loro natura risultano essere piuttosto sensibili all'azione del fuoco. Sono caratterizzate da:

- Ridotta iperstaticità o robustezza
- Snellezza
- Impossibilità di applicazione dei sistemi protettivi o membrane resistenti a temperature elevate [9].

1.2.1. Fasi dell'incendio

La vulnerabilità all'incendio di un edificio corrisponde al suo grado di suscettibilità nell'essere danneggiato a causa di un incendio. Possono essere distinte diverse classi di vulnerabilità: Bassa, Media, Alta.

Gli edifici che ordinariamente sono a temperatura ambiente, si trovano in stretto equilibrio con i materiali infiammabili e l'ossigeno, quando l'energia di innesco diventa sufficiente però questo equilibrio viene a meno provocando l'incendio. L'incendio passa attraverso tre fasi:

1. Innesco
2. Crescita/sviluppo
3. Pieno sviluppo ed estinzione.

Nella prima fase la temperatura risulta essere piuttosto bassa e i gas combustibili emanati dai materiali solidi si accumulano, successivamente si potrebbe verificare un veloce sviluppo dell'incendio, chiamato flashover. La temperatura aumenta rapidamente raggiungendo i 750°C, i gas combustibili si infiammano e di conseguenza l'incendio si estende. Gli uomini possono sopportare una temperatura massima di 45°C (che rientra nella categoria di temperatura che pongono gli esseri umani in condizioni di disagio). Una permanenza eccessiva alla temperatura di 65°C può provocare seri danni ai polmoni degli uomini, non permettendogli una sopravvivenza prolungata a tali condizioni. Dopo il verificarsi del flashover risulta particolarmente difficile la possibilità di salvataggio, a causa dell'elevata temperatura, della mancanza di ossigeno e dei seri danni provocati ai materiali dal calore e dalla fuliggine. L'incendio continuerà ad ardere fino a che non vi mancheranno materiali infiammabili da ardere.

1.2.1. Principi generali di prevenzione

I danni provocati da un incendio possono essere di alta quantità, a causa di:

- misure preventive antincendio insufficienti,
- un aumento della continuità del danno aziendale generato da impianti produttivi,
- impianti produttivi più vulnerabili anche se più costosi,
- edifici più complessi nonostante la leggerezza,
- compartimenti ampi,
- assenza di compartimenti antincendio,
- alto carico di incendio,
- inosservanza delle normative.

Occorre di conseguenza pensare a diversi metodi di prevenzione che consentano di evitare il più possibile condizioni che possono provocare un incendio. Un principio di prevenzione è il *controllo regolare delle misure di compartimentazione*, verificando che siano effettivamente funzionali. Occorre che le porte antincendio si chiudano ed evitare che si progettino aperture nelle pareti dei compartimenti. Inoltre sono richieste accurate progettazioni e rifiniture, rese possibili solo grazie a un'*ottimale esecuzione professionale*. Si può poi *ridurre il carico d'incendio*, distinguibile in carico d'incendio statico e variabile. Il primo si riferisce ai prodotti da costruzione utilizzati all'interno dell'edificio, il secondo (più importante) si riferisce invece ai contenuti. Risulta avere poca influenza la tipologia di materiale isolante progettata, ciò perché quando il fuoco raggiunge la coibentazione si mostra un cedimento di tin teggiatura e intonaco, e a tal punto il flashover sarà già avvenuto e il compartimento completamente perso. Occorre inoltre effettuare una *corretta*

manutenzione dell'impianto elettrico, i cortocircuiti sono una causa accidentale che può provarli, e possono essere identificati attraverso controlli termografici a infrarossi. E' fondamentale la presenza di *estintori antincendio manuali* posizionati ogni tot metri secondo la normativa vigente, installare sistemi di allarme e blocchi di emergenza, ed impedire il posizionamento di merci combustibili presso le pareti esterne degli edifici. Queste possono essere spesso soggette a incendi preterintenzionali. Infine è opportuno installare sistemi di messa a terra e di protezione dalle scariche atmosferiche.

Spesso in varie occasioni non è sufficiente rispettare i sistemi di prevenzione elencati, ma permettono di minimizzare le condizioni di incendio e possono essere estremamente utili [8].

1.2.3. Rischio all'incendio

Il Rischio all'incendio è funzione della frequenza, della magnitudo e della *vulnerabilità*.

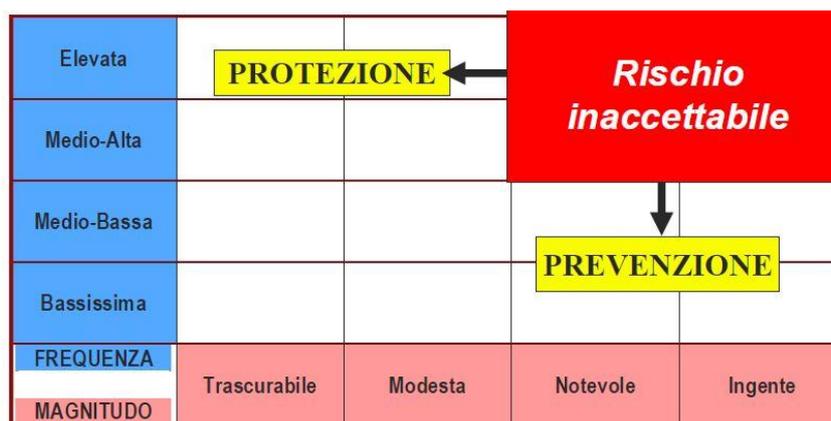


Fig. 1.5 Proporzionalità Frequenza - Magnitudo

All'aumentare sia della magnitudo sia della frequenza il rischio diventa inaccettabile. Invece, nel caso in cui la magnitudo sia ingente e la frequenza bassa o medio – bassa occorre adottare dei sistemi preventivi, mentre nel caso in cui la magnitudo sia modesta e la frequenza elevata si deve intervenire con sistemi di protezione. In questo modo si nota come siano strettamente legati i concetti di magnitudo e frequenza a livello di rischio.

La procedura che permette di definire una corretta analisi del rischio incendio ha inizio avendo chiari termini e definizioni fondamentali quali: resistenza al fuoco, reazione al fuoco, vie d'esodo, luogo sicuro, distanze di sicurezza, filtro a prova di fumo. [4]

La *resistenza al fuoco* è la capacità di un materiale di resistere per un certo tempo al fuoco durante un incendio, mentre la *reazione al fuoco* corrisponde al comportamento che assume a causa della sua decomposizione, alimentando o meno l'incendio. Le classi di resistenza

al fuoco esprimono il periodo di tempo in cui la resistenza è garantita, e sono espresse in minuti. Le classi sono le seguenti: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360. La reazione al fuoco invece è classificabile tramite le categorie: 0-1, 2-3, 4-5. Incrementando la classe, aumenta la contribuzione del materiale alla combustione durante l'incendio. [5] Anche le *vie d'esodo* sono un concetto fondamentale da chiarire: si tratta di uscite di emergenza che consentono un regolare flusso verso *luoghi sicuri*. Questi ultimi sono invece degli spazi scoperti (compartimenti), separati da altri tramite spazi scoperti oppure filtri a prova di fumo, permettendone il contenimento di un determinato numero di persone e consentirne quindi movimenti ordinati [6].

Dopo aver chiarito le definizioni base, occorre definire gli obiettivi che la sicurezza antincendio si pone:

- Minimizzare le possibilità di incendio
- Permettere che le strutture portanti non collassino fino al completamento del soccorso degli occupanti da parte dei vigili del fuoco
- Far sì che il fuoco o il fumo si propaghino in modo limitato all'interno dell'edificio in esame e di quelli limitrofi
- Assicurare un allontanamento delle persone in emergenza
- Garantire che i soccorritori operino in sicurezza.

L'incendio deve inoltre essere analizzato studiando i pericoli che possono provocarlo, analizzando e valutando in primo luogo la criticità delle sostanze. Si studia il carattere chimico che queste possono assumere, le proprietà fisiche, l'instabilità, la propria reattività. Si analizzano: le probabili sorgenti emissive di sostanze pericolose, definendone qualitativamente la probabilità di rilascio; i tempi di intervento per intercettarle; l'estensione delle zone pericolose che possono rilasciare energia; le condizioni di ventilazione. Inoltre un altro elemento di pericolo sono la temperatura, la pressione, la quantità, la presenza di comburenti, per questo motivo si valutano le condizioni operative. Inoltre si studia la vulnerabilità dei soggetti, dei beni esposti e la gravità degli effetti di propagazione che si possono generare in seguito all'incendio, creando un effetto domino [4]. Tutti questi elementi permettono di definire un quadro generale di prevenzione o che possa permettere una corretta azione da parte delle squadre di salvataggio.

Le sostanze chimiche che prendono parte all'incendio ossidandosi nel processo di combustione sono i combustibili. 'I combustibili si chiamano quelle sostanze capaci di bruciare all'aria, fornendo energia termica' [7]. Si possono distinguere combustibili solidi, liquidi, e gassosi in più naturali e artificiali. Tra i solidi naturali si possono trovare il legno,

la torba, la lignite, il litantrace; tra quelli artificiali: il carbone di legno, il coke e semicoke. I combustibili liquidi naturali invece sono il petrolio e il bitume; artificiali: benzine, oli distillati dal petrolio e dal catrame, sintolo, sintina. Infine, il gas naturale è un combustibile solido naturale, mentre tra gli artificiali si possono trovare: il gas illuminante, gas d'alto forno, dei forni a coke, gas aria, gas acqua, gas doppio, gas d'olio, idrogeno. I combustibili solidi naturali, tra i quali il legno o la torba, una volta riscaldati liberano sostanze volatili gassose, fenomeno endotermico. L'aria presente è insufficiente a causa dello sviluppo improvviso dei gas, la temperatura si abbassa e di conseguenza si ha formazione di fumi densi, determinando una combustione incompleta. Il fumo è dannoso per la perdita di sostanze combustibili sia per i danni all'ambiente.

I combustibili solidi devono essere individuati nelle proprie aree di accumulo. Una volta trovate, devono essere separate e stimati i quantitativi di combustibili presenti in esse. Ciò permette la definizione dell'estensione delle aree pericolose, al cui interno devono essere applicate determinate misure di controllo delle sorgenti di ignizione ed estinzione [7].

CAPITOLO 2. LA SCHEDA CARTIS

Le schede di rilevamento danno utilizzate fino al 1997 erano caratterizzate da un approccio completamente descrittivo, definendo unicamente le caratteristiche riguardanti i materiali e la loro combinazione. Ciò presentava un limite piuttosto elevato, creandosi problematiche nel momento in cui si incontrava un edificio diverso da quello di riferimento.

2.1. Schede di primo livello GNDT-CNR

Le schede di primo livello del GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) presentano, tra le versioni più recenti, una classificazione tipologica degli elementi strutturali molto più dettagliata rispetto alle versioni precedenti. Sono infatti caratterizzate da 18 tipologie di strutture verticali e 9 tipologie di strutture orizzontali. Sebbene fossero caratterizzate da una classificazione più dettagliata, si sono riscontrate diverse ambiguità e imprecisioni nell'attribuzione delle tipologie. Compilando le schede il rilevatore effettua però un'analisi puramente estetica, verificando che l'edificio corrisponda sostanzialmente a ciò descritto nelle schede, evitando una valutazione riguardante la vulnerabilità e l'agibilità. L'idea è quella di ottenere una valutazione completamente oggettiva, senza possibilità di interpretazione da parte del rilevatore. Lo studio delle schede ha messo in evidenza imponenti limiti legati all'impossibilità di descrivere all'interno delle schede tutte le possibili tipologie di edifici, anche se si tratta di un ambiente ristretto (regionale o nazionale). Inoltre si nota una grande difficoltà nel riconoscimento dei tipi di elementi costruttivi, dovuta alla variabilità delle tipologie nell'ambito dello stesso edificio, e alla variabilità del comportamento di una costruzione all'azione del sisma, pur essendo superficialmente simile ad altre e quindi classificate in modo sbagliato [10].

La scheda di primo livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici GNDT – CNR è composta da 8 sezioni:

Sezione 1: Definizione dei dati ISTAT provinciali e comunali, il numero di scheda e la data da inserire.

Sezione 2: Localizzazione dell'edificio tramite dati catastali e urbanistici.

Sezione 3: Inserimento dei dati riguardanti la superficie media coperta e l'altezza media d'interpiano (espressi rispettivamente in m² e m).

Sezione 4: Uso abitativo.

Sezione 5: Inserimento dei dati riguardanti l'età della costruzione e gli interventi effettuati precedentemente.

Sezione 6: Efficienza delle finiture e degli impianti.

Sezione 7: Definizione della tipologia strutturale prevalente.

Sezione 8: Estensione e livello del danno in percentuale.

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI (G.N.D.T.) – C.N.R.

Scheda di 1° livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici



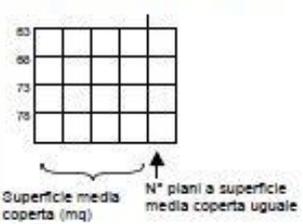
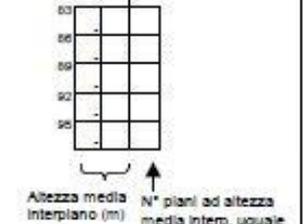
Sezione 1 – DATI RELATIVI ALLA SCHEDA Codice ISTAT Provincia ¹ _____ Codice ISTAT Comune ³ _____ Comune _____		Scheda n° ⁵ _____ Data ¹¹ _____ Squadra ¹⁷ _____ Prescheda _____																																																																									
Sezione 2 – LOCALIZZAZIONE EDIFICIO Codice ISTAT sezione Censuaria ¹⁹ _____ RIFERIMENTO CATASTALE Foglio ²² _____ Mappale ²⁵ _____ Particella ²⁸ _____ CARTOGRAFIA DI RILEVAZIONE Foglio ³² _____ Aggregato strutturale ³⁴ _____ Edificio ³⁶ _____ URBANISTICA Zona di piano ⁴⁰ _____ Piano attuativo ⁴¹ _____ Vincoli ⁴² _____		Aggregato strutturale _____ Edificio _____ 0 via, viale 1 corso 2 vicolo 3 piazza, largo ⁴³ _____ 4 località Nome ⁴⁴ _____ N° civico ⁴⁶ _____ N° accessi ⁶⁰ _____ N° fronti a comune ⁶² _____																																																																									
Sezione 3 – DATI METRICI  		Altezza massima fuori terra valutata alla gronda (m) ⁹⁶ _____ Altezza minima fuori terra valutata alla gronda (m) ¹⁰¹ _____ Larghezza stradale fronte principale (m) ¹⁰⁴ _____																																																																									
Sezione 4 – USO Totale unità d'uso ¹⁰⁶ _____ Stato dell'edificio ¹⁰⁶ _____ F finito N non finito C in costruzione Totale unità d'uso ¹⁰⁹ _____ 1 totalmente utilizzato 2 parzialmente utilizzato 3 non utilizzato 4 abbandonato		Proprietà ¹¹⁰ _____ Condizione prevalente ¹¹¹ _____ 1 diretta 2 in locazione																																																																									
1 sì 2 no ¹¹² _____ Abitazioni occupate ¹¹³ _____ N° ¹¹⁴ _____ Sup.% ¹¹⁵ _____		1 sì 2 no ¹¹⁶ _____ Abitazioni libere ¹¹⁶ _____ N° ¹¹⁷ _____ Sup.% ¹¹⁸ _____																																																																									
1 sì 2 no ¹²² _____ Abitazioni occup. salt. ¹¹⁹ _____ N° ¹²¹ _____ Sup.% ¹²¹ _____		1 sì 2 no ¹²³ _____ Abitazioni occup. salt. ¹¹⁹ _____ N° ¹²¹ _____ Sup.% ¹²¹ _____																																																																									
Alt. produttive ¹²² _____ 1 sì 2 no ¹²³ _____ Servizi pubblici ¹²³ _____ 1 sì 2 no ¹²⁴ _____ Denomin. edificio ¹²⁴ _____		_____																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Unità d'uso</th> <th colspan="4">Intensità d'uso</th> <th>Bacino Di utenza</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>Codice</th> <th>Tipo</th> <th>Sup.%</th> <th>Periodo di utilizzazione Mesi</th> <th>giorni</th> <th>Utilizzazione Potenziale media</th> <th>max</th> <th>h/gg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>¹³⁰ _____</td> <td>¹⁴⁰ _____</td> <td>¹⁴³ _____</td> <td>¹⁴⁴ _____</td> <td>¹⁴⁵ _____</td> <td>_____</td> <td>¹⁵⁰ _____</td> <td>_____</td> <td>¹⁵⁷ _____</td> </tr> <tr> <td>¹⁶⁰ _____</td> <td>¹⁶² _____</td> <td>¹⁶⁵ _____</td> <td>¹⁶⁶ _____</td> <td>¹⁶⁷ _____</td> <td>_____</td> <td>¹⁷² _____</td> <td>_____</td> <td>¹⁷⁹ _____</td> </tr> <tr> <td>¹⁸² _____</td> <td>¹⁸⁴ _____</td> <td>¹⁸⁷ _____</td> <td>¹⁸⁸ _____</td> <td>¹⁸⁹ _____</td> <td>_____</td> <td>¹⁹⁴ _____</td> <td>_____</td> <td>²⁰¹ _____</td> </tr> <tr> <td>²⁰⁴ _____</td> <td>²⁰⁶ _____</td> <td>²⁰⁹ _____</td> <td>²¹⁰ _____</td> <td>²¹¹ _____</td> <td>_____</td> <td>²¹⁶ _____</td> <td>_____</td> <td>²²³ _____</td> </tr> <tr> <td>²²⁶ _____</td> <td>²²⁸ _____</td> <td>²³¹ _____</td> <td>²³² _____</td> <td>²³³ _____</td> <td>_____</td> <td>²³⁸ _____</td> <td>_____</td> <td>²⁴⁵ _____</td> </tr> <tr> <td>²⁴⁸ _____</td> <td>²⁵⁰ _____</td> <td>²⁵³ _____</td> <td>²⁵⁴ _____</td> <td>²⁵⁵ _____</td> <td>_____</td> <td>²⁶⁰ _____</td> <td>_____</td> <td>²⁶⁷ _____</td> </tr> </tbody> </table>				Unità d'uso				Intensità d'uso				Bacino Di utenza	N°	Codice	Tipo	Sup.%	Periodo di utilizzazione Mesi	giorni	Utilizzazione Potenziale media	max	h/gg	¹³⁰ _____	¹⁴⁰ _____	¹⁴³ _____	¹⁴⁴ _____	¹⁴⁵ _____	_____	¹⁵⁰ _____	_____	¹⁵⁷ _____	¹⁶⁰ _____	¹⁶² _____	¹⁶⁵ _____	¹⁶⁶ _____	¹⁶⁷ _____	_____	¹⁷² _____	_____	¹⁷⁹ _____	¹⁸² _____	¹⁸⁴ _____	¹⁸⁷ _____	¹⁸⁸ _____	¹⁸⁹ _____	_____	¹⁹⁴ _____	_____	²⁰¹ _____	²⁰⁴ _____	²⁰⁶ _____	²⁰⁹ _____	²¹⁰ _____	²¹¹ _____	_____	²¹⁶ _____	_____	²²³ _____	²²⁶ _____	²²⁸ _____	²³¹ _____	²³² _____	²³³ _____	_____	²³⁸ _____	_____	²⁴⁵ _____	²⁴⁸ _____	²⁵⁰ _____	²⁵³ _____	²⁵⁴ _____	²⁵⁵ _____	_____	²⁶⁰ _____	_____	²⁶⁷ _____
Unità d'uso				Intensità d'uso				Bacino Di utenza																																																																			
N°	Codice	Tipo	Sup.%	Periodo di utilizzazione Mesi	giorni	Utilizzazione Potenziale media	max	h/gg																																																																			
¹³⁰ _____	¹⁴⁰ _____	¹⁴³ _____	¹⁴⁴ _____	¹⁴⁵ _____	_____	¹⁵⁰ _____	_____	¹⁵⁷ _____																																																																			
¹⁶⁰ _____	¹⁶² _____	¹⁶⁵ _____	¹⁶⁶ _____	¹⁶⁷ _____	_____	¹⁷² _____	_____	¹⁷⁹ _____																																																																			
¹⁸² _____	¹⁸⁴ _____	¹⁸⁷ _____	¹⁸⁸ _____	¹⁸⁹ _____	_____	¹⁹⁴ _____	_____	²⁰¹ _____																																																																			
²⁰⁴ _____	²⁰⁶ _____	²⁰⁹ _____	²¹⁰ _____	²¹¹ _____	_____	²¹⁶ _____	_____	²²³ _____																																																																			
²²⁶ _____	²²⁸ _____	²³¹ _____	²³² _____	²³³ _____	_____	²³⁸ _____	_____	²⁴⁵ _____																																																																			
²⁴⁸ _____	²⁵⁰ _____	²⁵³ _____	²⁵⁴ _____	²⁵⁵ _____	_____	²⁶⁰ _____	_____	²⁶⁷ _____																																																																			

Fig. 2.1 Scheda GNDT-CNR 1° Livello

Scheda di 1° livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici

<p>Sezione 5 – ETÀ DELLA COSTRUZIONE – INTERVENTI</p> <p>Classi di età</p> <p>A prima del '19 B '19 '45 C '46 '60 D '61 '71 E '72 '81 F dopo l' '81 G H</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><th colspan="4">INTERVENTI</th></tr> <tr><th>Norma attuale prescelta</th><th>Reg. Anelli DM 28/10/80</th><th>Reg. Anelli DM 28/10/80</th><th>Reg. Anelli DM 28/10/80</th></tr> <tr><td>A</td><td>B</td><td>I</td><td>C</td></tr> <tr><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td></td></tr> <tr><td>G</td><td>H</td><td>J</td><td></td></tr> <tr><td>K</td><td>L</td><td>M</td><td>N</td></tr> <tr><td>O</td><td>P</td><td>Q</td><td></td></tr> </table> <p>Classe di età di costr. 270 <input type="text"/></p> <p>Classe di età ultimo intervento significat. 271 <input type="text"/></p> <p>Tipo ultimo int. signif. 272 <input type="text"/></p> <p>R = in deroga (Art.30 L. 64/74)</p>	INTERVENTI				Norma attuale prescelta	Reg. Anelli DM 28/10/80	Reg. Anelli DM 28/10/80	Reg. Anelli DM 28/10/80	A	B	I	C	D	E	F		G	H	J		K	L	M	N	O	P	Q		<p>Sezione 6 – STATO DELLE FINITURE E IMPIANTI</p> <p>E Efficiente Intonaci e paramenti esterni 273 <input type="text"/></p> <p>N Non efficiente Infissi esterni 274 <input type="text"/></p> <p>Z Non esistenti Impianto elettrico 275 <input type="text"/></p> <p>Impianto idrico 276 <input type="text"/></p> <p>Finiture interne (intonaci, pavim., ...) 277 <input type="text"/></p> <p>Riscaldamento 278 <input type="text"/></p> <p>Servizi igienici 279 <input type="text"/></p>																																																																																																																
INTERVENTI																																																																																																																																													
Norma attuale prescelta	Reg. Anelli DM 28/10/80	Reg. Anelli DM 28/10/80	Reg. Anelli DM 28/10/80																																																																																																																																										
A	B	I	C																																																																																																																																										
D	E	F																																																																																																																																											
G	H	J																																																																																																																																											
K	L	M	N																																																																																																																																										
O	P	Q																																																																																																																																											
<p>Sezione 7 – TIPOLOGIA STRUTTURALE</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Strutture verticali</p> <p>A Muratura a sacco B Muratura a sacco con spigoli, mazzette, ricorsi C Muratura pietra sboccata D Muratura pietra sboccata con rinforzi c.s. E Muratura pietre arrotondate F Muratura pietre arrotondate con rinforzi c.s. G Muratura blocchetti tufo, pietra ben squadrata H Muratura blocchetti calcestruzzo inerti pesanti I Muratura blocchetti calcestruzzo inerti leggeri L Muratura mattoni pieni o multifori M Muratura mattoni forati N Paredi calcestruzzo non armato O Paredi calcestruzzo armato P Telai di c.a. non tamponati Q Telai di c.a. con tamponature deboli R Telai di c.a. con tamponature consistenti S Ossatura metallica T Miste U V</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Strutture orizzontali</p> <p>A Legno B Legno con catene C Putrelle e voltine o tavelloni D Putrelle e voltine o tavelloni con catene E Laterocemento o solette in c.a. F Volte senza catene G Volte con catene H Miste volte solai I Miste volte solai con catene L</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p>Coperture</p> <p>M Legno spingente N Legno "poco spingente" (vedi manuale) O Legno a spinta eliminata o travi orizz. P Laterocemento o solette in c.a. Q Acciaio spingente R Acciaio non spingente S Mista spingente T Mista non spingente U</p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Scale</p> <p>0 Struttura appoggiata in legno 1 Struttura a sbalzo in legno 2 Struttura appoggiata in acciaio 3 Struttura a sbalzo in acciaio 4 Struttura appoggiata in pietra o laterizio 5 Struttura a sbalzo in pietra o laterizio 6 Volta appoggiata in muratura 7 Volta a sbalzo in muratura 8 Struttura appoggiata in c.a. 9 Struttura a sbalzo in c.a.</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Tipologia strutturale prevalente 280 <input type="text"/></p> <p>1 Tipologia specialistica (capannoni, chiese, ...) 2 Muratura o mista 3 Calcestruzzo armato 4 acciaio 5 altro</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Tipologia strutturale N° piani a tipologia strutturale uguale</p> <table border="1" style="width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>281</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>286</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>289</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>293</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>297</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Verticale</td><td>Scale</td><td>Orizz. e cop.</td></tr> </table> </div>		281				286				289				293				297					Verticale	Scale	Orizz. e cop.																																																																																																																				
281																																																																																																																																													
286																																																																																																																																													
289																																																																																																																																													
293																																																																																																																																													
297																																																																																																																																													
	Verticale	Scale	Orizz. e cop.																																																																																																																																										
<p>Sezione 8 – ESTENSIONE E LIVELLO DEL DANNO</p> <p>Evento in data 301 <input type="text"/></p> <p>1 sisma 307 <input type="text"/></p> <p>2 altro</p> <p>Danni a impianti 1 si 308 <input type="text"/></p> <p>2 no</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p>M - livello danno max rilevato E - estensione danno più diffuso L - livello danno più diffuso</p> <p>Livello del danno</p> <p>A Nessun danno B Danno lieve C Danno medio D Danno grave E Danno gravissimo F Danno totale</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Estensione del danno</p> <p>0 ≤ 10% 1 10< ≤ 20% 2 20< ≤ 30% 3 30< ≤ 40% 4 40< ≤ 50% 5 50< ≤ 60% 6 60< ≤ 70% 7 70< ≤ 80% 8 80< ≤ 90% 9 90<</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <table border="1" style="width: 100px; height: 100px;"> <tr><td></td><td>M</td><td>E</td><td>L</td><td>N°</td></tr> <tr><td>308</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>312</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>316</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>320</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>324</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Scale</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100px; height: 100px;"> <tr><td></td><td>M</td><td>E</td><td>L</td><td>N°</td></tr> <tr><td>328</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>332</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>336</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>340</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>344</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Strutture orizzontali</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <table border="1" style="width: 100px; height: 100px;"> <tr><td></td><td>M</td><td>E</td><td>L</td><td>N°</td></tr> <tr><td>348</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>352</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>346</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>360</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>354</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Scale</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100px; height: 100px;"> <tr><td></td><td>M</td><td>E</td><td>L</td><td>N°</td></tr> <tr><td>368</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>372</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>376</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>380</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>384</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Tamponature</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> </div>			M	E	L	N°	308					312					316					320					324						Scale					M	E	L	N°	328					332					336					340					344						Strutture orizzontali					M	E	L	N°	348					352					346					360					354						Scale					M	E	L	N°	368					372					376					380					384						Tamponature			
	M	E	L	N°																																																																																																																																									
308																																																																																																																																													
312																																																																																																																																													
316																																																																																																																																													
320																																																																																																																																													
324																																																																																																																																													
	Scale																																																																																																																																												
	M	E	L	N°																																																																																																																																									
328																																																																																																																																													
332																																																																																																																																													
336																																																																																																																																													
340																																																																																																																																													
344																																																																																																																																													
	Strutture orizzontali																																																																																																																																												
	M	E	L	N°																																																																																																																																									
348																																																																																																																																													
352																																																																																																																																													
346																																																																																																																																													
360																																																																																																																																													
354																																																																																																																																													
	Scale																																																																																																																																												
	M	E	L	N°																																																																																																																																									
368																																																																																																																																													
372																																																																																																																																													
376																																																																																																																																													
380																																																																																																																																													
384																																																																																																																																													
	Tamponature																																																																																																																																												

Fig. 2.2 Scheda GNDT-CNR 1° Livello

2.2. Schede di secondo livello GNDT-CNR

Le schede GNDT-CNR di secondo livello che valutano la vulnerabilità sismica di un edificio, risultano più approfondite in quanto analizzano un fabbricato tipo in particolare. La compilazione della stessa spesso segue la compilazione della scheda di primo livello, dall'altro lato presenta una serie di sovrapposizioni di dati che rendono la procedura piuttosto autonoma anche se si prevede la compilazione di entrambe. La compilazione delle schede riguarda sia edifici in cemento armato sia edifici in muratura, assegnando un punteggio da -25 a 100 per i primi e da 0 a 100 per i secondi. Sono definiti nella scheda vari parametri che permettono una corretta valutazione, accompagnati da schemi e richiami. Per la muratura si considerano: Tipo e organizzazione del sistema resistente, qualità del S.R., Resistenza convenzionale, Posizione dell'edificio e Fondazione, Orizzontamenti, Configurazione Planimetrica, Configurazione in elevazione, D_{max} , Copertura, Elementi non strutturali, Stato di fatto. La scheda riguardante il Calcestruzzo armato utilizza invece come parametri: Tipo e organizzazione del sistema resistente, distribuzione delle tamponature, configurazione planimetrica e irregolarità in elevazione. Ciò permette di calcolare l'indice di vulnerabilità, mentre nel caso della muratura occorre integrare "pesando" ciascun parametro tramite un fattore ρ_i sulla base dell'influenza che ha sul comportamento sismico globale.

Le schede GNDT-CNR sono state col tempo superate con schede di primo e secondo livello più adeguate. L'approccio descrittivo risultava essere troppo superficiale e col tempo sono state arricchite le varie tipologie tramite descrizioni più accurate, evitando l'attribuzione di fabbricati a tipologie non corrette. Questo tipo di approccio ha portato a una minor affidabilità dei dati raccolti durante il rilievo, appesantendolo a causa delle regole da rispettare in quanto approccio puramente descrittivo. Si è cercato perciò di effettuare un passaggio da un approccio descrittivo a un approccio comportamentale. I comportamenti previsti non sono molti, poiché le tipologie di uno stesso elemento strutturale sono varie, ad esempio nel caso delle murature influisce il materiale di cui sono composti gli inerti, la loro forma, tessitura, oppure i componenti della malta. Allo stesso tempo si genera una forte semplificazione che porta ad ottenere i dati in modo molto più semplice e perciò affidabile. Il passaggio dalle caratteristiche estetiche alle comportamentali deve però essere ben guidato [10].

Le *Fig. 2.3* e *Fig. 2.4* mostrano un esempio di scheda di 2° livello GNDT-CNR, la prima nel caso di un edificio in muratura, la seconda di un fabbricato in cemento armato.

G.N.D.T. – SCHEDE DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)



PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	SCHEMI – RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	11	22	Norme nuove costruzioni (Clas. A) <input type="checkbox"/> 1 Norme riparazioni (Clas. A) <input type="checkbox"/> 2 Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B) <input type="checkbox"/> 3 Buoni ammassam. fra muri (Clas. C) <input type="checkbox"/> 4 Senza cordoli cattivi ammass. (Clas. D) <input type="checkbox"/> 5	Parametro 3. Resistenza convenzionale Tipologia strutture verticali τ_x (t/mq) _____ _____ _____ Minimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Massimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Coeff. $\alpha_0 = A/A_1$ _____ Coeff. $\gamma = B/A$ _____ $q = (A_x + A_y) h \rho_m / A_x + p_k$ _____ $C = \frac{\alpha_0 \tau_x}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1,5 q \tau_x (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0,4$ _____
2	QUALITÀ DEL S.R.	12	23	(vedi manuale) <input type="checkbox"/> 34	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	13	24	Numero di piani N <input type="checkbox"/> 35 Area totale coperta A_1 (mq) <input type="checkbox"/> 37 Area A_x (mq) <input type="checkbox"/> 41 Area A_y (mq) <input type="checkbox"/> 44 τ_x (t/mq) <input type="checkbox"/> 47 Alt. media interpiano h (m) <input type="checkbox"/> 50 Peso specifico pareti ρ_m (t/mc) <input type="checkbox"/> 52 Carico permanente solai p_k (t/mq) <input type="checkbox"/> 54	Parametro 6. Configurazione planimetrica $\beta_1 = a/l$ $\beta_2 = b/l$
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	14	25	Pendenza percentuale del terreno <input type="checkbox"/> 56 Roccia Fondazioni: Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2 Terr. sciolto non sping. Fond. Si <input type="checkbox"/> 3 No <input type="checkbox"/> 4 Terr. sciolto spingente Fond. Si <input type="checkbox"/> 5 No <input type="checkbox"/> 6 Differen. max di quota Δh (m) <input type="checkbox"/> 59	Parametro 7. Configurazione in elevazione
5	ORIZZONTAMENTI	15	26	Piani sfalsati Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2 Orizzontamenti rigidi e ben collegati <input type="checkbox"/> 63 Orizzontam. deformabili e ben collegati <input type="checkbox"/> 2 Orizzontam. rigidi e mal collegati <input type="checkbox"/> 3 Orizzontam. deformabili e mal collegati <input type="checkbox"/> 4 % Orizzontam. rigidi e ben collegati <input type="checkbox"/> 64	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	16	27	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$ <input type="checkbox"/> 66 Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$ <input type="checkbox"/> 70	Parametro 8. Copertura
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	17	28	% aumento (+) o diminuzione(-) di massa <input type="checkbox"/> 74 Rapporto percentuale T/H <input type="checkbox"/> 77 Percentuale superficie porticata <input type="checkbox"/> 79 Piano terra porticato Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2	
8	D_{max} MURATURE	18	29	Rapporto massimo l/h <input type="checkbox"/> 82	
9	COPERTURA	19	30	Copert. non sp. <input type="checkbox"/> 84 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cordoli in copertura Si <input type="checkbox"/> 85 No <input type="checkbox"/> 2 Catene in copertura Si <input type="checkbox"/> 86 No <input type="checkbox"/> 2 Carico perman. coper. p_k (t/mq) <input type="checkbox"/> 87 Lungh. appoggio coper. l_k (m) <input type="checkbox"/> 90 Perimetro copertura l (m) <input type="checkbox"/> 93	
10	ELEM. NON STRUTT.	20	31	(Vedi manuale)	
11	STATO DI FATTO	21	32	(Vedi manuale)	

Fig. 2.3 Scheda GNDT-CNR 2° Livello per MURATURA

GNDT

G.N.D.T. – SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (CALCESTRUZZO ARMATO)

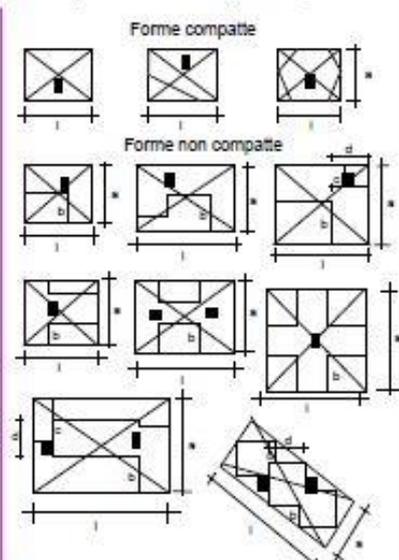
PARAMETRI	Classi	ELEMENTI DI VALUTAZIONE E SCHEMI – RICHIAMI
1 TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE	□	<p><i>La valutazione va riferita alla direzione più debole.</i></p> <p>1 Pareti in c.a. in entrambi le direzione 2 Pilastri e travi alte 3 Pilastri e travi in spessore di solaio 4 Altro _____ 5 Non so</p>
2 DISTRIBUZIONE DELLE TAMPONATURE	□	<p><i>Considerare solo le tamponature esterne e i campi di tamponatura pieni per più del 70% a contatto con la maglia strutturale (travi e pilastri).</i></p> <p>A Su 4 lati esterni B Su 3 lati esterni C Su 2 lati esterni D Su 1 lato esterno</p>
3 CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	Forma □	<p><i>Il nucleo scale e ascensore sono da considerarsi resistenti quando sono realizzati o in pareti di c.a. o a struttura intelaiata con tamponatura consistente (Blocchi cls o tufo, mattoni pieni o forati doppio UNI)</i></p> <p>1 Forma compatta con nucleo scala/ascensore resistente centrale 2 Forma compatta con nucleo scala/ascensore resistente eccentrico 3 Forma non compatta con nucleo scala ascensore resistente centrale 4 Forma non compatta con nucleo scala/ascensore resistente eccentrico</p> 
4 IRREGOLARITÀ IN ELEVAZIONE	Piano debole □ Pilastri tozzi □	<p><i>Per piano debole si intende un piano che ha una rigidità ridotta rispetto agli altri come il caso di piano pilotis o piani con grandi aperture o piani privi di tamponature o tamponature poste in aggetto o arretrate rispetto alla maglia strutturale</i></p> <p>A Assente B Diverso dal piano terra con nucleo scala/ascensore resistente C Al piano terra con nucleo scala/ascensore resistente D Diverso dal piano terra senza nucleo scala/ascensore resistente E Al piano terra senza nucleo scala/ascensore resistente</p> <p>1 Assenti 2 Per travi a ginocchio o piani sfalsati 3 Per finestre a nastro 4 Altro _____</p>

Fig. 2.4 Scheda GNDT-CNR 2° Livello per CEMENTO ARMATO

2.3. Schede AeDES

La scheda AeDES è la scheda di Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica. E' nata in seguito all'avvento del sisma del 1997 in territorio umbro-marchigiano, per testimoniare i danni subiti in modo piuttosto speditivo, definendo anche i provvedimenti di pronto intervento e la stima dell'agibilità post-sismica degli edifici presi in esame. I fabbricati studiati dalle schede sono edifici che presentano una tipologia strutturale ordinaria, ovvero in muratura, cemento armato, acciaio o legno. E' importante non applicarla a edifici industriali, come capannoni prefabbricati, chiese, serbatoi e infrastrutture.

Una caratteristica fondamentale delle schede, che la contraddistingue da quelle utilizzate in passato (fino al 1997) è la classificazione delle varie tipologie degli elementi costruttivi. Nelle precedenti infatti si utilizzava un criterio descrittivo, definendo la tipologia sulla base delle caratteristiche dei materiali e del loro accostamento, provocandone forti limiti superati successivamente dalla scheda AeDES [10].

La scheda si compila considerando un intero edificio 'cielo-terra', differenziandolo dagli altri sulla base della tipologia che li riguarda utilizzando criteri quali: differenza di altezza, età in cui il fabbricato è stato costruito, piani sfalsati. E' formata da 9 sezioni, e si compila barrando le caselle sia in caso di una unica scelta sia in caso di multiscelta. Le varie sezioni contengono le seguenti informazioni:

- Sezione 1: inserimento dei dati di localizzazione: Provincia, Comune e Frazione; identificativo scheda e edificio. Quest'ultimo è possibile definirlo tramite una collaborazione comunale, in quanto occorre inserire i dati Istat e catastali.
- Sezione 2: definizione dei: piani totali del fabbricato, comprendendo l'interrato; altezza media di interpiano; superficie media tra i piani dell'edificio; età di costruzione o anno in cui sono stati effettuati i vari interventi di ristrutturazione strutturale; tipi di uso presenti all'interno dell'edificio; infine si mostra se l'edificio è abbandonato oppure non utilizzato a causa delle cattive condizioni.
- Sezione 3: caratterizzazione della tipologia a cui corrisponde l'edificio in esame, definendo massimo due opzioni. Si distinguono a seconda dei materiali, dei leganti che li compongono, o dalla presenza di pilastri isolati. Le tipologie a cui possono corrispondere gli edifici in esame sono le seguenti: 'cemento armato (o altre strutture intelaiate) su muratura; muratura su cemento armato (o altre strutture intelaiate); muratura mista a cemento armato (o altre strutture intelaiate) in parallelo sugli stessi piani; muratura rinforzata con iniezioni o intonaci non armati;

muratura armata o con intonaci armati; muratura con altri o non identificati rinforzi' [11].

- Sezione 4: inserimento dei danni strutturali riconoscibili in primo luogo visivamente. Il grado di danno può essere determinato sulla base della scala macrosismica europea EMS98, integrata con le informazioni riportate dalle schede di rilievo GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti). In particolare si distinguono i danni a seconda che siano:
Leggeri, i quali non compromettono la resistenza della struttura e la sicurezza degli abitanti;
Medio-gravi, che potrebbe modificare notevolmente la resistenza della struttura, pur non raggiungendo il limite del crollo (anche in parte) delle strutture principali;
Gravissimi, investono significativamente le strutture principali, raggiungendo lo stato limite ultimo e provocando crolli parziali o totali.
- Sezione 5: definizione della presenza di danni ad elementi non strutturali, indicandone gli eventuali provvedimenti presi (scelta multipla, nella combinazione della scheda).
- Sezione 6: indicazione dei probabili pericoli esterni provocati da costruzioni vicine all'edificio preso in esame, ed eventuali provvedimenti messi in atto.
- Sezione 7: inserimento della tipologia di terreno e di fondazione, specificando eventuali dissesti.
- Sezione 8: valutazione del rischio, effettuando un giudizio di agibilità. L'esito B corrisponde alla riduzione del rischio tramite il pronto intervento (di rapida esecuzione, che permette l'agibilità dell'edificio). L'esito D si indica in casi eccezionalmente critici, e se si tratta di edifici pubblici.
- Sezione 9: osservazioni riguardo l'accuratezza con cui è stato possibile effettuale il rilievo, e i provvedimenti di pronto intervento e agibilità. Sono riportate annotazioni ed eventuali fotografie dell'edificio in esame [11].

In Fig. 2.5, Fig. 2.6 e Fig. 2.7 è riportato un esempio di scheda AeDES compilabile.



SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA

(AeDES 06/2008)

Codice Richiesta

SEZIONE 1 Identificazione edificio		IDENTIFICATIVO SOPRALLUOGO giorno mese anno	
Provincia:	_____	Squadra	Scheda n. Data
Comune:	_____	IDENTIFICATIVO EDIFICIO	
Frazione/Località: (denominazione Istat)	_____	Istat Reg.	Istat Prov. Istat Comune N° aggregato N° edificio
1 <input type="radio"/> via	_____	God. di Località Istat	Tipo carta
2 <input type="radio"/> corso	_____ Num. Civico _____	Sez. di censimento Istat	N° carta
3 <input type="radio"/> vicolo	_____	Dati Catastrali Foglio _____ Allegato _____	
4 <input type="radio"/> piazza	_____ (Indicare: contrada, località, traversa, salita, etc.)	Particelle _____	
5 <input type="radio"/> altro	_____	Posizione edificio 1 <input type="radio"/> Isolato 2 <input type="radio"/> Interno 3 <input type="radio"/> D'estremità 4 <input type="radio"/> D'angolo	
Coordinate geografiche (ED50 - UTM fuso 32-33)	E _____ Fuso _____ N _____	Codice Uso _____	
Denominazione edificio o proprietario	_____		S _____

Fotocopia dell'aggregato strutturale con identificazione dell'edificio

SEZIONE 2 Descrizione edificio																																					
Dati metrici			Età	Uso - esposizione																																	
N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m ²]	Costruzione e ristrutturaz. [max 2]	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti																														
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 9	1 <input type="radio"/> ≤ 2.50	A <input type="radio"/> ≤ 50 I <input type="radio"/> 400 - 500	1 <input type="checkbox"/> ≤ 1919	A <input type="checkbox"/> Abitativo	_____	A <input type="radio"/> > 65%	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>9</td><td>9</td></tr> </table>	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9
0	0	0																																			
1	1	1																																			
2	2	2																																			
3	3	3																																			
4	4	4																																			
5	5	5																																			
6	6	6																																			
7	7	7																																			
8	8	8																																			
9	9	9																																			
<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 10	2 <input type="radio"/> 2.50 ÷ 3.50	B <input type="radio"/> 50 ÷ 70 L <input type="radio"/> 500 - 650	2 <input type="checkbox"/> 19 ÷ 45	B <input type="checkbox"/> Produttivo	_____	B <input type="radio"/> 30 - 65%																															
<input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 11	3 <input type="radio"/> 3.50 ÷ 5.0	C <input type="radio"/> 70 ÷ 100 M <input type="radio"/> 650 - 900	3 <input type="checkbox"/> 46 ÷ 61	C <input type="checkbox"/> Commercio	_____	C <input type="radio"/> < 30%																															
<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 12	4 <input type="radio"/> > 5.0	D <input type="radio"/> 100 ÷ 130 N <input type="radio"/> 900 - 1200	4 <input type="checkbox"/> 62 ÷ 71	D <input type="checkbox"/> Uffici	_____	D <input type="radio"/> Non utilizz.																															
<input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> > 12		E <input type="radio"/> 130 ÷ 170 O <input type="radio"/> 1200 - 1600	5 <input type="checkbox"/> 72 ÷ 81	E <input type="checkbox"/> Serv. Pub.	_____	E <input type="radio"/> In costruz.																															
<input type="radio"/> 6	Piani interrati	F <input type="radio"/> 170 ÷ 230 P <input type="radio"/> 1600 - 2200	6 <input type="checkbox"/> 82 ÷ 91	F <input type="checkbox"/> Deposito	_____	F <input type="radio"/> Non finito																															
<input type="radio"/> 7		A <input type="radio"/> 0 C <input type="radio"/> 2	7 <input type="checkbox"/> 92 ÷ 01	G <input type="checkbox"/> Strategico	_____	G <input type="radio"/> Abbandon.																															
<input type="radio"/> 8	B <input type="radio"/> 1 D <input type="radio"/> ≥ 3	H <input type="radio"/> 300 - 400 R <input type="radio"/> > 3000	8 <input type="checkbox"/> ≥ 2002	H <input type="checkbox"/> Turis-ricet.	_____																																
				Proprietà A <input type="radio"/> Pubblica B <input type="radio"/> Privata																																	

Fig. 2.5 Esempio scheda AeDES (pagina 1)

2.4. Curve di fragilità

Le curve di fragilità corrispondono alla probabilità che un insieme di fabbricati raggiungano lo stato limite, corrispondente al valore di un parametro di intensità sismica spettrale. La fragilità è definita mediante la seguente relazione (2.1):

$$\sum_a P[C \leq DIM = a] \sum_a P[C \leq DIM = a] \quad (2.1)$$

La (2.1) indica come la fragilità sia 'la sommatoria (sull'intensità sismica) delle probabilità che la capacità sia minore della domanda per una fissata intensità' [12]. E' fondamentale utilizzare spettri adeguati, poiché a seconda delle informazioni reperite si utilizzano diversi approcci.

Le curve di fragilità presentano in ascissa il valore di PGA. La PGA corrisponde alla Pick Ground Acceleration a_g , ovvero la misura della massima accelerazione del suolo provocata dal sisma. La curva di fragilità mostra la percentuale di costruzioni appartenente a una determinata classe che superano lo SLU fissato, in cui la capacità risulta essere minore rispetto alla domanda, il tutto al variare del valore di PGA. Perciò, considerando più spettri, si tende a far variare i valori di accelerazione al suolo per poter ottenere i valori di probabilità di superamento. Non conoscendo le informazioni geosismiche della zona in esame, in quanto piuttosto scarse, spesso si utilizza uno spettro normativo compatibile con l'aria di riferimento. La fragilità viene quindi calcolata al variare della PGA degli spettri a forma costante. Avendo a disposizione più accelerogrammi il calcolo risulta essere molto più preciso, dato che si considerano anche le varie forme spettrali, anche se il metodo migliore risulta essere quello di ottenere le curve di pericolosità del sito. Ciò permette di considerare ogni spettro corrispondente a un dato valore di accelerazione del suono a_g , che presentano probabilità di accadimento e diverse forme spettrali.

'Per ogni lancio pseudo casuale si valuta la capacità e la domanda per una prefissata PGA (o PGV) ottenendo in caso di fallimento ($C \leq D$) un incremento di una variabile k di controllo. Al termine di tutti i lanci pseudo casuali la probabilità di fallimento sarà data dal rapporto tra k e il numero totale dei lanci, ottenendo per una fissata PGA un punto della curva di fragilità' [12].

Un esempio di curva di fragilità è rappresentato in *Fig.2.8*, valutata sulla base di un fabbricato di tre piani, avente come probabilità di collasso un valore di PGA di 0,5g (corrispondente al 60%). La curva mostra in ascissa i diversi valori di PGA, in ordinata la probabilità di collasso.

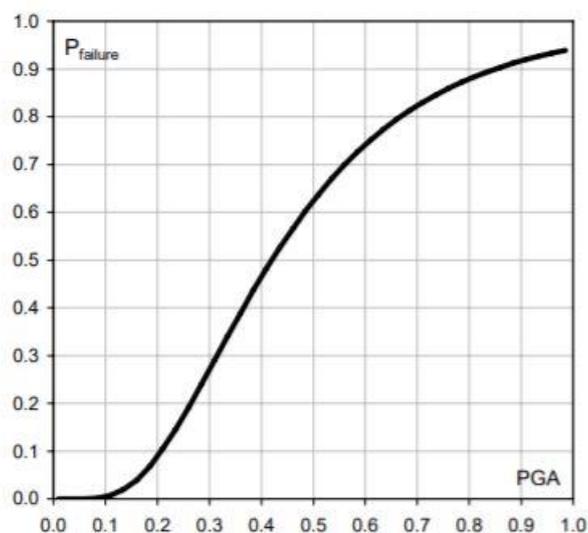


Fig. 2.8 Curva di fragilità al collasso

2.5. Scheda CARTIS

La scheda CARTIS si distingue in CARTIS di primo o di secondo livello, il primo caso consiste nel rilevamento delle tipologie edilizie all'interno di zone comunali oppure sub-comunali, definite comparti. I comparti sono aree comprendenti tipologie edilizie omogenee, per età di costruzione e tecniche costruttive e strutturali. Gli edifici in esame sono ordinari, prevalentemente si tratta di abitazioni o servizi multipiano. Sono composti da una struttura in muratura o cemento armato intelaiato o a setti, e presentano altezze di interpiano e interassi tra pilastri moderati. Si escludono analisi su edifici religiosi o palazzi storici, su strutture speciali come capannoni industriali e centri commerciali, su strutture strategiche quali ospedali, scuole, caserme, prefetture, sedi della protezione civile, in quanto edifici non ordinari.

La scheda CARTIS è stata studiata e progettata all'interno del Progetto triennale ReLUIIS 2014-2016, con il contributo del DPC e nella linea 'Sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico/strutturali degli edifici'. Per sviluppare la scheda sono state sfruttate conoscenze ed esperienze create nel precedente lavoro di caratterizzazione tipologica sul territorio italiano portato avanti dall'Unità di Ricerca di Napoli, chiamato oggi Centro Studi PLINIVS/LUPT, con l'attuale Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile (DPC). Il lavoro aveva come titolo 'Modello di Caratterizzazione Tipologico Strutturale a Scala Nazionale'. Lo studio ammette che la generazione della scheda CARTIS nasce come studio delle caratteristiche costruttive locali,

indagando sul panorama costruttivo nazionale ed esaminando le caratteristiche strutturali di cui gli edifici di costruzione ordinaria sono composti.

Col passare degli anni le tecniche costruttive in Italia sono cambiate, a causa delle culture e dei condizionamenti locali. Ciò ha portato ad una varietà di costruzioni e caratteristiche strutturali, le quali hanno avuto un ruolo fondamentale sulla diversa risposta sismica da parte degli edifici differenti tra loro sotto questi aspetti. La compilazione delle schede CARTIS è fondamentale anche per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici presenti nel nostro paese. Ciò permette dunque una ricostruzione dell'inventario del patrimonio edilizio nazionale e la regionalizzazione delle DPM, matrici di probabilità di danno. Lo studio degli edifici in muratura risulta essere quello di maggior interesse, i centri storici italiani sono quasi sempre caratterizzati da edifici in muratura con un'enorme varietà di configurazioni, perciò provoca un notevole interesse. Si sviluppano approfondimenti significativi aventi come fine ultimo la contestualizzazione delle attuali matrici di probabilità di danno, e la definizione degli strumenti fondamentali per un loro sfruttamento in campo nazionale. In conclusione il primario obiettivo delle schede CARTIS è 'fornire gli elementi utili a migliorare l'inventario delle distribuzioni tipologico strutturali sul territorio nazionale che, come è noto, rappresenta un punto cardine per le analisi di vulnerabilità e quindi di rischio a larga scala svolte con qualsiasi specifico approccio (statistico-empirico, meccanico-numerico, combinato o altro)' [12].

2.5.1 Criteri generali di compilazione

Per poter compilare le schede occorre affiancarsi a un esperto dell'Unità di Ricerca ReLUIS di riferimento, con l'aiuto di un tecnico comunale o appartenente ad altri enti pubblici quale regione, provincia, comune, comunità montana o genio civile, oppure di un tecnico libero professionista che abbia un'ampia conoscenza dell'area e degli edifici oggetto di studio da parte del compilatore. Le informazioni ricavate al fine della compilazione devono essere critiche e seguire un percorso in cui le informazioni si possono ricavare tramite interviste a vari tecnici locali che possiedono una forte cultura a proposito delle costruzioni situate nel territorio in esame. E' fondamentale che il compilatore esegua vari sopralluoghi, se possibile accompagnato dal tecnico intervistato per poter effettuare le analisi in modo più critico e consapevole. E' inoltre importante poiché il sopralluogo permette di verificare la correttezza delle informazioni acquisite, in più è possibile notare le eventuali incongruenze che possono essere risolte direttamente in sito. Il compilatore deve precedere all'inserimento dei dati nelle schede con un suo studio personale del territorio in esame, effettuando indagini storiche di tipo bibliografico e documentario, che permettano di

definire i vari periodi in cui sono state costruite le diverse tipologie, in modo da poter effettuare un'adeguata compartimentazione dell'area. Lo studio può essere condotto con l'ausilio di fonti cartografiche e catastali, foto aeree e satellitari, in concomitanza con l'aiuto fornito dai siti web a disposizione. Inoltre è importante che le schede non siano compilate in ogni punto, non avendo la certezza delle informazioni riportate. Si preferisce infatti compilare poche parti della scheda ma in modo certo. L'obiettivo più importante rimane la valutazione della risposta sismica della tipologia studiata.

2.5.2 Criteri per la delimitazione dei comparti

I comparti sono delle aree contenenti la medesima tipologia di edifici, omogenei dal punto di vista strutturale e per età di costruzione. La scheda CARTIS permette di descrivere un massimo di 8 tipologie, 4 di edifici in muratura e 4 in cemento armato. Per poter delimitare i comparti si utilizza il seguente materiale:

- CTR (cartografia comunale di base),
- Ortofoto,
- Carte catastali di diverse epoche,
- Foto aeree di epoche differenti,
- PRG o PP (piano regolatore generale oppure piano particolareggiato),
- Piani di recupero, piani strutturali.

In questo modo possono distinguersi i nuclei storici edificati prima del 1919, gli edifici costruiti in periodi antecedenti al 1974 e alla data di classificazione sismica del comune in esame, e le aree create in seguito alle date appena elencate.

Questo tipo di classificazione è stata adottata nella compilazione delle schede CARTIS applicate al comune di Urbino, i cui comparti proposti sono sostanzialmente 3:

- Centro storico (costruito nel '500, e quindi in epoca antecedente al 1919),
- Prima espansione dal dopoguerra (costruzioni edificate tra il 1920 e il 1970),
- Zona di espansione successiva agli anni '70.

I fabbricati costruiti negli anni 2000 non presentano un numero di straordinaria importanza, a causa delle difficoltà di costruzione essendo Urbino patrimonio UNESCO. per questo motivo non sono stati definiti altri comparti oltre ai 3 elencati in precedenza.

In *Fig.2.9* si mostra la divisione in comparti nel comune di Urbino (PU).

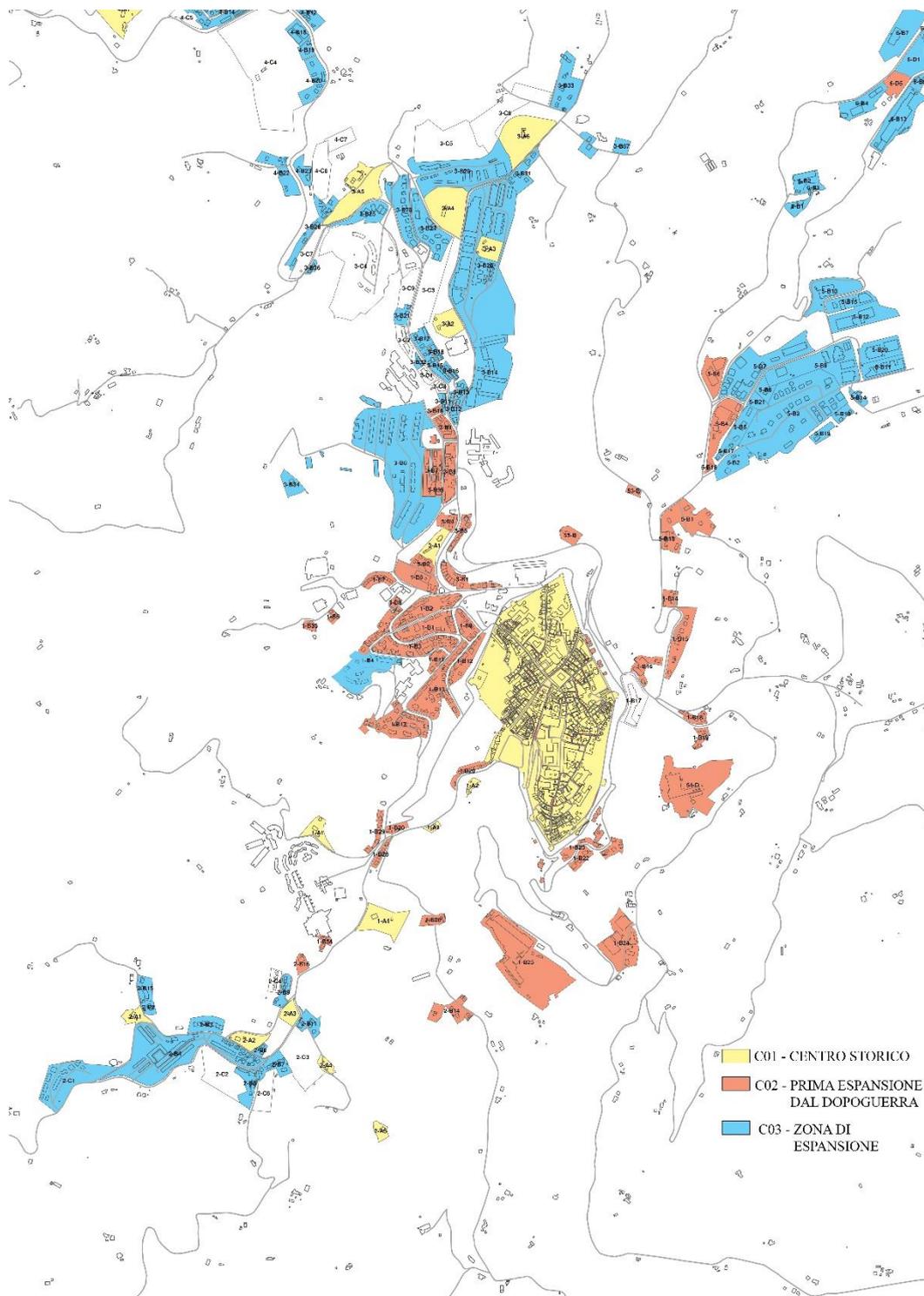


Fig. 2.9 Esempio delimitazione comparti, Urbino (PU)

2.5.3 Istruzioni alla compilazione della scheda CARTIS 2014

Sezione 0:

La sezione 0 si distingue in Parte A e Parte B. Permette di identificare il comune in esame e i comparti presenti al suo interno dall'esperto dell'Unità ReLUIS e il tecnico intervistato.

La prima parte contiene:

- Dati di localizzazione: regine in esame, provincia, comune, eventuale frazione.
- Dati generali del comune: numero totale di residenti nel comune in esame, l'anno di prima classificazione sismica, anno in cui è stato approvato l'ultimo Piano Regolatore Generale (PRG), esplicitazione della presenza o meno del Piano Particolareggiato nel centro storico, dati ISTAT riguardo al numero totale di edifici e abitazioni, distinguendo i dati ISTAT dai dati rilevati.
- Espressione del numero di comparti definiti.
- Dati identificativi dell'Unità di Ricerca UR: viene definito il nome del referente (individuato dal Responsabile della Linea Reluis), il suo titolo di studio, la qualifica, numero di telefono indirizzo, e il nome del compilatore con annessa firma.
- Dati indentificativi del tecnico (appartenente a un ente pubblico o privato) intervistato.
- Planimetria del comune con annessa identificazione dei comparti stabiliti e numerati.

La seconda parte raccoglie:

- Il codice del comparto, con relativa denominazione ed epoca di primo impianto,
- Numero dei residenti all'interno di ciascun comparto,
- Numero di edifici ed abitazioni, con relativa superficie coperta.
- Tipologie prevalenti presenti nel comparto, per questo vengono definiti delle abbreviazioni come MUR1 oppure CAR1, corrispondenti rispettivamente ad edificio in muratura e cemento armato. Si possono individuare un massimo di 4 tipologie di edifici in muratura e 4 tipologie in cemento armato. Deve essere segnalata la percentuale di incidenza delle costruzioni di una data tipologia, rispetto l'intero comparto.
- Affidabilità delle informazioni raccolte dal tecnico intervistato: bassa, media o alta.

Sezione I:

Identifica ciascuna delle tipologie prevalenti in modo generico, e deve essere compilata per ogni tipologia di ciascun comparto del comune in esame. Contiene le seguenti informazioni:

- Codice tipologia,
- Codice identificativo della tipologia del comparto, consiste in una stringa alfanumerica di 15 cifre inserendovi in successione 5 codifiche: codice ISTAT regionale, codice ISTAT provinciale, codice ISTAT comunale, codice del comparto codice della tipologia. Ad esempio, nel caso di Urbino la stringa alfanumerica corrisponde al seguente codice: 11 041 067 C01 MUR1. In cui 11 è il codice ISTAT della regione, 041 Codice ISTAT della provincia, 067 codice ISTAT del comune.
- Posizione della tipologia nel contesto urbano: si evidenzia per poter identificare le possibili interazioni tra gli edifici in caso di terremoto, inserendo in percentuale la posizione del fabbricato nel contesto urbano. Può essere isolata, in adiacenza, staticamente indipendente, in connessione, come espresso in *Fig.2.12*.

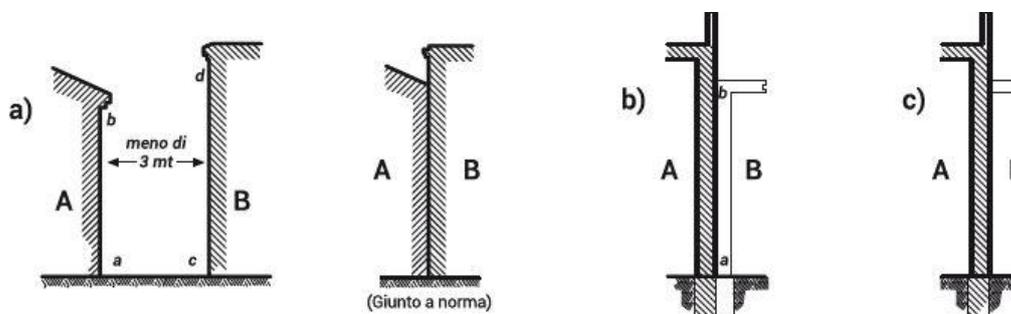


Fig. 2.12 Interazione tra gli edifici

- Fotografia di un edificio rappresentativo della tipologia.
- Pianta e Sezione di un edificio tipo rappresentativo della tipologia in esame.

In *Fig.2.13* si nota la Sezione 1 della scheda CARTIS da compilare.

Sezione 2:

La seconda sezione contiene una descrizione sintetica riguardo la tipologia di edificio in esame, fornendo diverse informazioni in modo sintetico, quali:

- Numero di piani comprendenti interrati e seminterrati, definendo un massimo di due scelte per poter comprendere almeno l'80% delle costruzioni presenti all'interno della tipologia di riferimento. Occorre fare una media dei piani, ad esempio se un edificio ne ha 7 e un edificio 2 occorre individuare intervalli di 4 e 5 piani. Il numero totale si intende a partire dalla fondazione comprendendo un eventuale sottotetto praticabile.
- Altezza media di piano della maggior parte della tipologia in esame.
- Altezza media del piano terra.
- Numero di piani interrati, quali quelli in cui l'altezza fuori terra è minore del 50% dell'altezza totale del piano.
- Superficie media di piano, che rappresenti almeno l'80% delle costruzioni presenti nella tipologia in esame. Se il rapporto massimo/minimo è superiore a tre occorre introdurre un'ulteriore tipologia.
- Età di costruzione, sempre rappresentativo dell'80 di costruzioni in fase di studio.
- Uso prevalente, che sia abitativo, commerciale, un ufficio, turistico- ricettivo, produttivo, deposito o strategico.

In Fig. 2.14 esempio di sezione 2 da compilare.

Sezione 3:

Le sezioni si distinguono in 3.1A e 3.1B, la prima da compilare nel caso in cui gli edifici in questione sono costruiti in muratura o struttura mista, la seconda in cemento armato. La sezione 3.2 invece deve essere compilata in ogni caso.

La sezione 3.1A contiene:

- Caratteristiche della struttura verticale della tipologia in esame, accertandosi che si ottenga una risposta sismica attesa prevalente. Gli apparecchi murari si distinguono in base alla loro tessitura in tre classi principali: *regolari*, *sbozzate*, *irregolari*. Le murature *regolari* sono caratterizzate da un taglio regolare perfettamente squadrato, e corrispondono a tufo, pietre regolari e laterizio. La tessitura è regolarizzata con ricorsi di mattoni o pietre regolari a passo costante. Si parla di ricorsi quando gli strati orizzontali sono a una distanza minore di 1 o 1,5 m. La

muratura *sbozzata* corrisponde a elementi aventi un taglio non perfettamente squadrato, con orditura lastriforme di pietra a soletti, e di forma quasi regolare.



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS 2014



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica

SEZIONE 2: Caratteristiche generali

IDT

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interrati [N°] (max 2)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> ≥ 12
b. Altezza media di piano [m]	A <input type="radio"/> ≤ 2,50 C <input type="radio"/> 3,50 ÷ 5,00 B <input type="radio"/> 2,50 ÷ 3,49 D <input type="radio"/> > 5,00
c. Altezza media di piano terra [m]	A <input type="radio"/> ≤ 2,50 C <input type="radio"/> 3,50 ÷ 5,00 B <input type="radio"/> 2,50 ÷ 3,49 D <input type="radio"/> > 5,00
d. Piani interrati [N°]	A <input type="radio"/> 0 B <input type="radio"/> 1 C <input type="radio"/> 2 D <input type="radio"/> ≥ 3
e. Superficie media di piano [m²] (max 2)	A <input type="checkbox"/> 50 E <input type="checkbox"/> 170 I <input type="checkbox"/> 500 O <input type="checkbox"/> 1600 B <input type="checkbox"/> 70 F <input type="checkbox"/> 230 L <input type="checkbox"/> 650 P <input type="checkbox"/> 2200 C <input type="checkbox"/> 100 G <input type="checkbox"/> 300 M <input type="checkbox"/> 900 Q <input type="checkbox"/> 3000 D <input type="checkbox"/> 130 H <input type="checkbox"/> 400 N <input type="checkbox"/> 1200 R <input type="checkbox"/> > 3000
f. Età della costruzione (max 2)	A <input type="checkbox"/> ≤ 1860 H <input type="checkbox"/> 82 ÷ 86 B <input type="checkbox"/> 1861 - 19 I <input type="checkbox"/> 87 ÷ 91 C <input type="checkbox"/> 19 ÷ 45 L <input type="checkbox"/> 92 ÷ 96 D <input type="checkbox"/> 46 ÷ 61 M <input type="checkbox"/> 97 ÷ 01 E <input type="checkbox"/> 62 ÷ 71 N <input type="checkbox"/> 02 ÷ 08 F <input type="checkbox"/> 72 ÷ 75 O <input type="checkbox"/> 09 ÷ 11 G <input type="checkbox"/> 76 ÷ 81 P <input type="checkbox"/> ≥ 2011
g. Uso prevalente	A <input type="checkbox"/> Abitativo B <input type="checkbox"/> Produttivo C <input type="checkbox"/> Commercio D <input type="checkbox"/> Uffici D <input type="checkbox"/> Servizi pubblici D <input type="checkbox"/> Deposito D <input type="checkbox"/> Strategico D <input type="checkbox"/> Turistico - ricettivo

Elaborazione  Centro Studi PLIN.I.V.S.

B2/2

Fig. 2.14 Sezione 2 scheda CARTIS

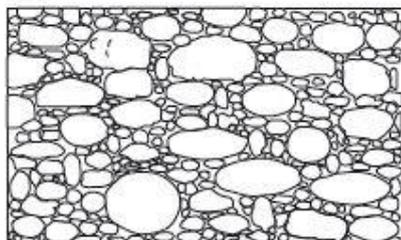
La muratura *irregolare* invece è composta da elementi particolari, quali ciottoli di fiume, di piccole dimensioni o grandi, levigati in forma arrotondata a causa di alluvioni, oppure aventi spigoli vivi in calcare o pietra lavica. In *Fig. 2.15*, *Fig. 2.16*, *Fig. 2.17* e *Fig. 2.18* si notano gli abachi delle murature regolari, sbazzate e irregolari.

A1: Pietra arrotondata

Costituita prevalentemente da elementi con superficie liscia e forma arrotondata, o da ciottoli di fiume di piccole e medie dimensioni; si presenta tanto con tessitura ordinata quanto disordinata.

Senza Ricorsi (S.R.)

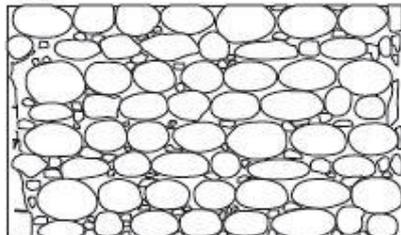
A1.1



- Senise (PZ) -
Ciottoli con tessitura
disordinata.



A1.2

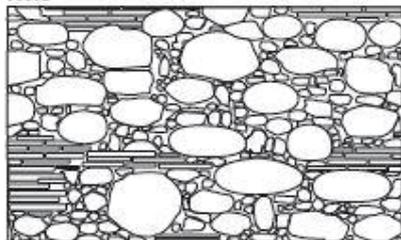


- Assisi -
Ciottoli di varia natura
con tessitura ordinata.



Con Ricorsi (C.R.)

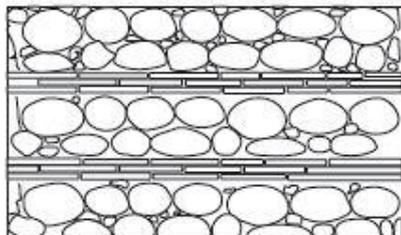
A1.3



- Sassuolo (MO) -
Ciottoli e mattoni.



A1.4



- Castel dei Sauri (FG) -
Muratura di pietrame
con ricorsi laterizi.



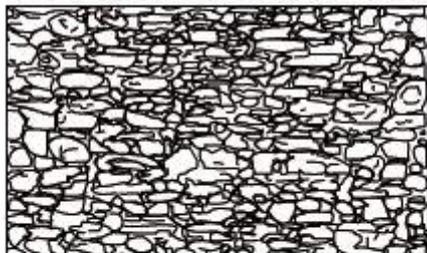
Fig. 2.15 Abaco delle murature irregolari (Manuale AeDES)

A1: Pietra grezza

Costituita prevalentemente da pietra grezza, generalmente non lavorata o di difficile lavorazione: elementi di forma irregolare o di varie dimensioni come scapoli di cava o spezzoni di pietre.

Senza Ricorsi (S.R.)

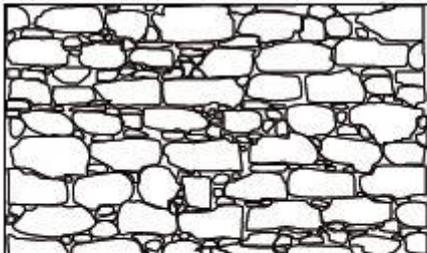
A2.1



- Benevento -
Pietrame a tessitura
piuttosto ordinata.



A2.2

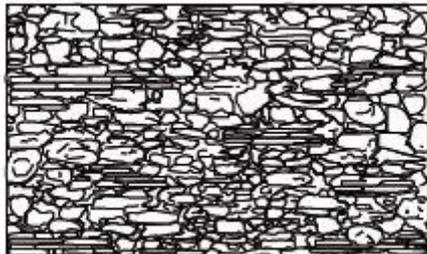


- S. Angelo Limosano -
Pietrame con tessitura
disordinata.



Con Ricorsi (C.R.)

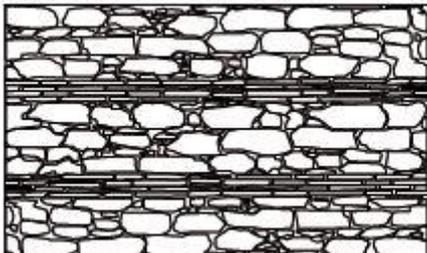
A2.3



- Alia (PA) -
Muratura disordinata
con embrici e calcare.



A2.4



- Benevento -
Muratura disordinata
con ricorsi laterizi.



Fig. 2.16 Abaco delle murature irregolari (Manuale AeDES)

B1: Pietra lastriforme

Costituita prevalentemente da elementi semilavorati, lastriformi (pietra a soletti) ottenute da rocce di scarsa potenza che tendono a sfaldarsi lungo il loro piano orizzontale. La forma quasi regolare degli elementi esclude quasi sempre la tessitura disordinata.

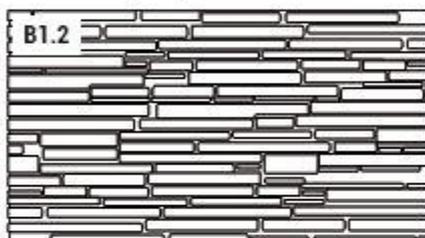
Senza Ricorsi (S.R.)



- Nocera Umbra (PG) -



Con Ricorsi (C.R.)



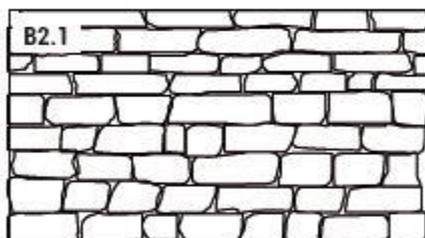
- Isola del Piano (PS) -



B2: Pietra pseudo regolare

Costituita da pietra semilavorata quasi regolare e di dimensioni maggiori rispetto alla precedente. La pseudo-regolarità degli elementi esclude la tessitura disordinata.

Senza Ricorsi (S.R.)



- Cerchiaro (CS) -
Pietra calcarea
semilavorata.



Con Ricorsi (C.R.)

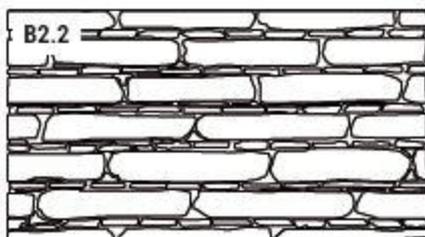
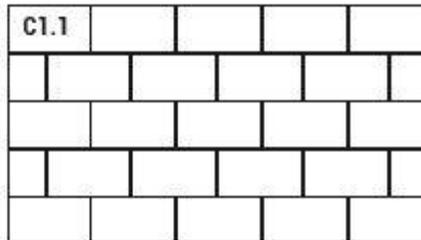


Fig. 2.17 Abaco delle murature sbazzate (Manuale AeDES)

C1: Pietra squadrata
Costituita da pietre squadrate di forme prestabilite. La regolarità degli elementi esclude la tessitura disordinata.

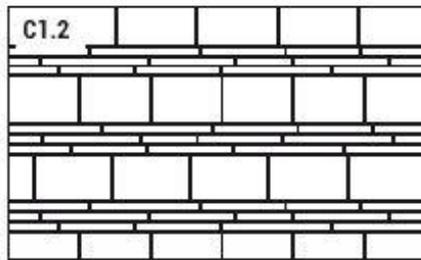
Senza Ricorsi (S.R.)



- Benevento -
Tufo vulcanico.



Con Ricorsi (C.R.)

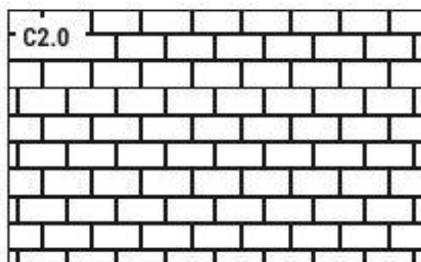


- Napoli -
Tufo vulcanico
e mattoni.



C2: Mattoni
Costituita da elementi laterizi che, per la loro regolarità, escludono la tessitura disordinata.

Senza Ricorsi (S.R.)



- Nocera Umbra (PG) -



Fig. 2.18 Abaco delle murature regolari (Manuale AeDES)

La sezione 3.1 A contiene anche informazioni riguardo la presenza o meno di muratura a sacco. Per muratura a sacco si intende una muratura formata da mattoni distanziati tra loro che fungono da cassero di contenimento e racchiudono al loro interno una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione, legati da malta di cemento o calce. Inoltre contiene informazioni sulla presenza di catene o cordoli, collegamenti trasversali (tramite diatoni, semidiatoni) nello spessore della muratura a doppio paramento, speroni e contrafforti come rappresentato in *Fig.2.19*. Il tutto riguardo la tipologia in esame e non riferendosi a un edificio in particolare.

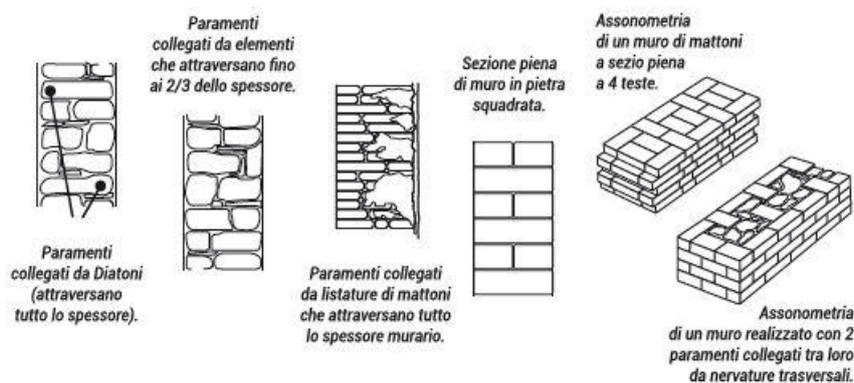


Fig. 2.19 Sezioni a paramenti collegati o a unico paramento, e sezione piena.

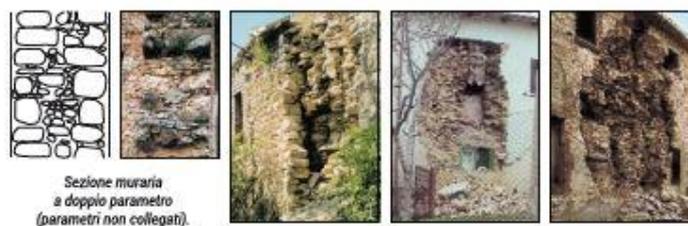


Fig. 2.20 Sezione a paramenti con elementi scollegati, crolli provocati dal sisma.

Vengono riportati lo spessore medio prevalente delle pareti e l'interasse tra le pareti di spina, come riportato in *Fig. 2.21*. E' inoltre importante definire la composizione dei solai, solitamente si distinguono in solai con travi con soletta deformabile, con soletta semirigida e rigida. I primi sono i solai in legno a semplice o doppia orditura, quindi composti da travi e travicelli, sopra cui poggia un tavolato o mezzane (elementi laterizi) con caldana in battuto di lapillo o materiali di risulta, gretonato. La tipologia comprende anche solai in putrelle e voltine in mattoni, pietra o conglomerati. I solai con travi e soletta deformabile

sono caratterizzati da travi che pur essendo collegate alla struttura verticale, condizione rara, non creano vincolo alle pareti sollecitate e non permettono di distribuire le forze

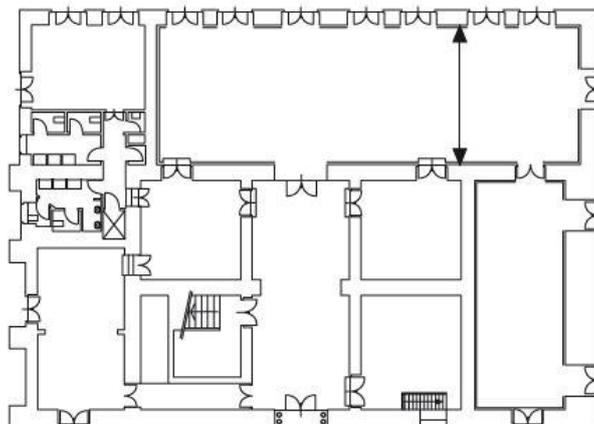


Fig. 2.21 Interasse tra le pareti in muratura

sismiche tra le pareti, sollecitandole al massimo. Ciò a causa della deformabilità orizzontale e della scarsa resistenza della tipologia. Queste condizioni agevolano il crollo. I solai con travi e soletta semirigida sono caratterizzati da un vincolo sufficientemente rigido alle pareti, nel caso in cui siano ben collegate alla struttura verticale. Ciò permette che le forze sismiche si distribuiscano in modo regolare tra le pareti dell'edificio. I solai semirigidi sono i solai in legno con doppio tavolato incrociato, sul quale poggia una soletta di ripartizione in CA, solai in putrelle, in laterizi prefabbricati SAP senza soletta armata. Infine i solai con soletta rigida sono così rigidi che permettono un corretto comportamento della scatola muraria, in cui le pareti sollecitate fuori dal piano sono vincolate al solaio in modo corretto. Si tratta di solai in cemento armato, solai in latero cemento con laterizi e travetti prefabbricati, solai con soletta superiore in cemento armato. Le tipologie di solaio sono raffigurate in *Fig.2.22* e *Fig.2.23*.

E' inoltre fondamentale indicare le due tipologie prevalenti di struttura orizzontale 'a volta':

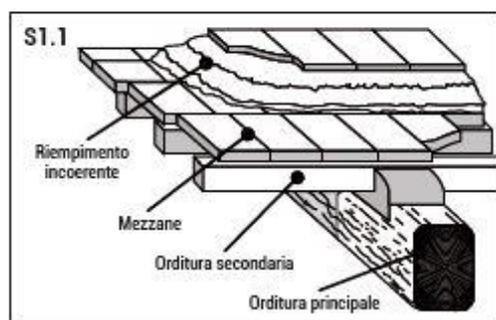
- volta a botte,
- volta a botte con lunette,
- volta a botte con teste a padiglione,
- volta a specchio,
- volta a padiglione,
- volta a crociera,

- volta a vela,
- volta a imbuto o a ventaglio.

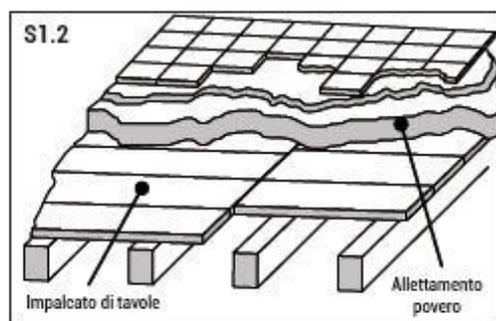
In Fig.2.24 sono rappresentate le varie tipologie.

4: Pietra lastriforme

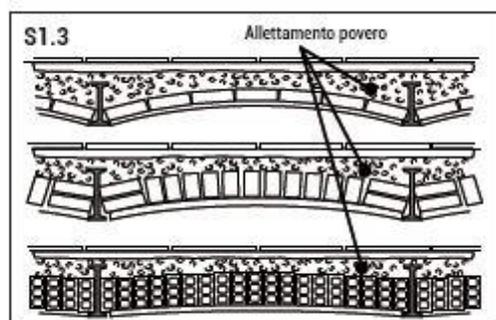
Solai in legno a semplice o doppia orditura (travi e travicelli) con tavolato ligneo semplice o elementi laterizi (mezzane), eventualmente finito con caldana in battuto di lapillo o materiali di riuscita (cretonato). Solai in putrelle e voltine realizzate in mattoni, pietra o conglomerati. In entrambi i casi, se è stato realizzato un irrigidimento, mediante tavolato doppio, meglio ancora, soletta armata ben collegata alle travi, tali solai potrebbero intendersi rigidi o semirigidi, in base al livello di collegamento tra gli elementi.



Solaio in legno con mezzana



Solaio in legno con tavolata a semplice orditura.

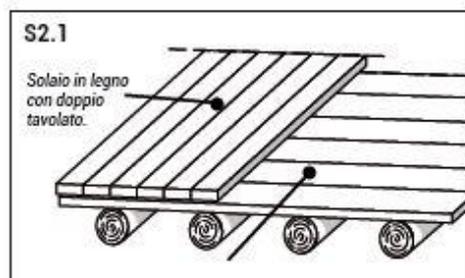


Solaio con travi di ferro a voltine.

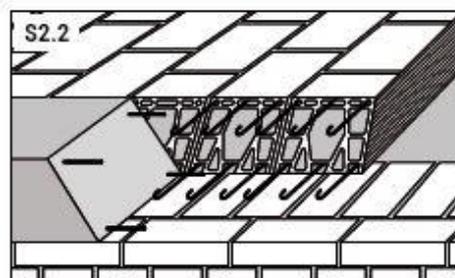
Fig. 2.22 Strutture orizzontali deformabili

5: Travi con soletta semirigida

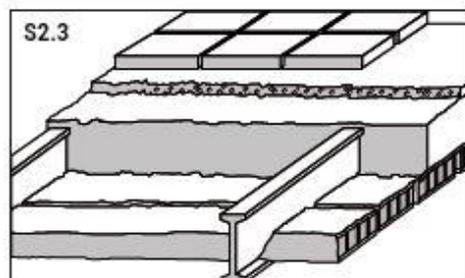
Solai in legno con doppio tavolato incrociato eventualmente finito con una soletta di ripartizione in cemento armato. Solai in putrelle e tavelloni ad intradosso piano. Solai laterizi prefabbricati tipo Sap.



Solai in legno con doppio tavolato.



Solai in prefabbricato del tipo SAP.

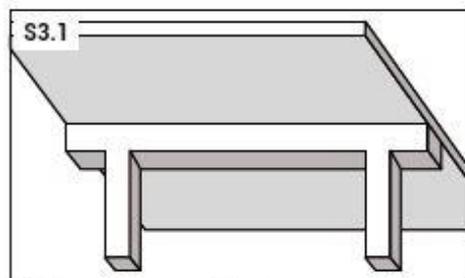


Solai in ferro e tavelloni.

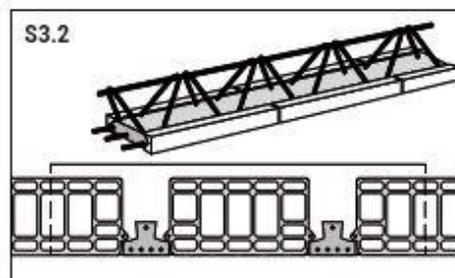


6: Travi con soletta rigida

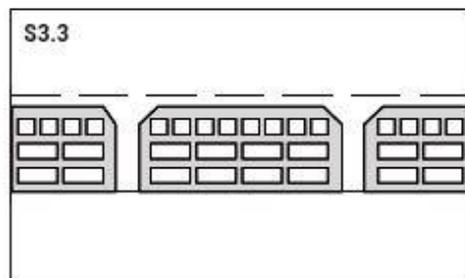
Solai in cemento armato a soletta piena. Solai in latero-cemento con elementi laterizi e travetti in opera prefabbricati.



Solai in cemento armato a soletta piena.



Solai in cemento armato a travetti prefabbricati.



Solai in laterocemento gettato in opera.



Fig. 2.23 Strutture orizzontali rigide e semirigide

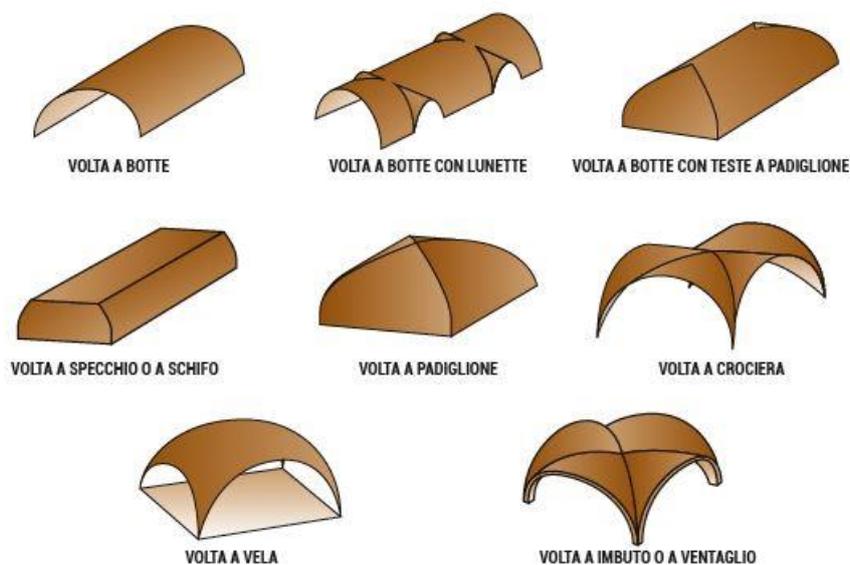


Fig. 2.24 Rappresentazione tipologie di volte

La sezione considera la possibilità che la struttura sia di tipo misto, nel caso potrebbe esserci compresenza di muratura e cemento armato (o altre strutture intelaiate), muratura con ampliamento in pianta in cemento armato, muratura confinata, muratura perimetrale e pilastri interni in cemento armato, o esterni in CA (quest'ultima tipologia è rappresentata in Fig.2.25).

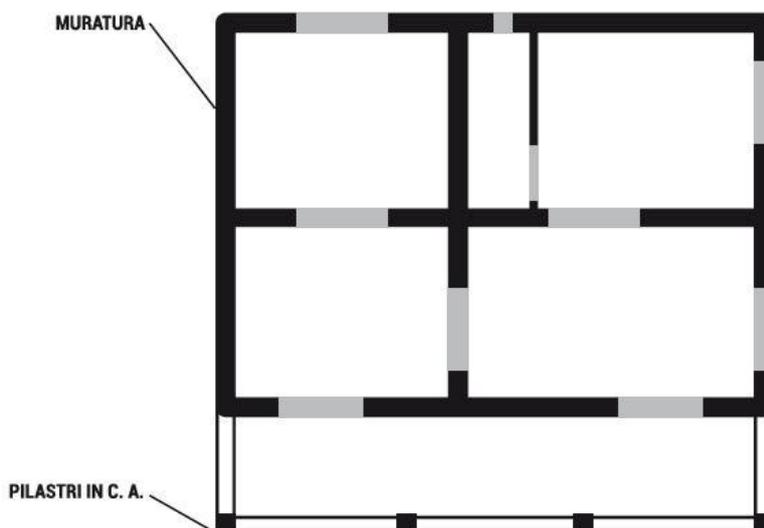


Fig. 2.25 Esempio di struttura mista con muratura perimetrale e pilastri esterni in CA

Infine la sezione 3.1 A riporta le tipologie di malta presenti prevalentemente nelle tipologie, e la caratterizzazione delle condizioni, se buone, cattive o medie. Sono indicate la presenza

di portici, logge ed ulteriori elementi di vulnerabilità. In questo caso si intende ad esempio la mancanza di ammorsamenti, o la presenza di cordoli. Sono distinti in quelli relativi alle strutture verticali, orizzontali, fondazioni e irregolarità strutturali.

La sezione 3.1 B si riferisce alle strutture costruite in cemento armato. In primo luogo si distinguono in diverse classi: telai tamponati con murature consistenti, ovvero senza grandi aperture e ben allineate tra loro; telai costituiti da travi alte e tamponature con aperture ampie e diffuse in tutto l'edificio; telai con travi in spessore e tamponature non troppo grandi o assenti; telai composti da travi alte sul perimetro con tamponature non consistenti; presenza in parallelo di telai con travi alte e nuclei in cemento armato interni; presenza di setti; travi a spessore e setti in cemento armato interni. Viene segnalato dal compilatore la percentuale di edifici dotati di giunti di separazione, per i quali si intende la presenza di giunti a norma o fuori norma o a contatto che separano gli edifici gli uni dagli altri. I giunti sono a norma se gli edifici sono stati realizzati in seguito alla classificazione sismica o se hanno dimensioni pari a minimo 1/100 dell'altezza del fabbricato. Sono invece fuori norma se distano pochi centimetri l'un l'altro o sono completamente adiacenti pur mantenendo la propria indipendenza strutturale. Occorre indicare anche la presenza di bow windows. Il bow window è un elemento strutturale sporgente rispetto l'allineamento dei pilastri, ma facente comunque parte della struttura dell'edificio. Un esempio di bow window è riportato in Fig.2.26.



Fig. 2.26 Esempi di Bow windows

La sezione 3.1B relativa agli edifici in cemento armato permette in più di:

- controllare se gli edifici sono costruiti con telai aventi una sola direzione, se sono assenti, o se sono costituiti con travi a spessore;

- definire la percentuale di elementi verticali tozzi, ovvero travi a ginocchio, piani sfalsati, finestre a nastro;
- presenza di tamponature a piano terra, ciò permette di individuare la presenza di piani soffici [12]. Il piano soffice è un meccanismo che viene a generarsi nel momento in cui sono presenti al piano terra diverse aperture superiori al 60-70% di muratura o cemento armato (ad esempio i Carrefour situati al piano terra di un edificio). Ciò permette che la costruzione collassi localmente, le cerniere plastiche si localizzano all'estremità dei pilastri del singolo piano. E' un meccanismo molto pericoloso, in quanto la costruzione collassa rapidamente, il piano terra risulterà essere completamente distrutto, mentre gli altri piani leggermente lesionati.
- ubicazione delle tamponature nei confronti del telaio, queste possono trovarsi all'interno della maglia strutturale potendo interagire correttamente con la struttura oppure in adiacenza ad essa. In questo caso non è possibile una collaborazione tra la tamponatura e la maglia strutturale. Lo stesso succede nel caso in cui il pilastro fosse completamente arretrato e la cortina esterna non inserita nella maglia strutturale. Molti edifici costruiti in cemento armato presentano problemi di questo tipo, un esempio è raffigurato in *Fig.2.27* in cui si nota come la tamponatura sia stata costruita arretratamente rispetto ai pilastri, con conseguente risposta dell'edificio al sisma.
- conoscere le dimensioni dei pilastri situati al piano terra dell'edificio, in centimetri, ovviamente considerando una misura media della maggior parte dei fabbricati presenti all'interno della tipologia in esame.
- indicare il diametro dell'armatura longitudinale, l'interasse tra le staffe dei pilastri (in centimetri), il diametro delle staffe dei pilastri (in millimetri), la lunghezza d'ancoraggio dei pilastri, il tipo di armatura liscia o ad aderenza migliorata. E' importante che le informazioni riportate nelle schede siano veritiere, altrimenti è opportuno che il compilatore lasci i campi vuoti, in modo tale da conferire un'affidabilità maggiore alla scheda CARTIS.



Fig. 2.27 Esempio di tamponatura arretrata rispetto alla maglia strutturale

- definire l'interasse medio in metri tra i pilastri della maggior parte degli edifici presenti nella tipologia studiata.
- Presenza di solai SAP. I solai SAP sono solai senza armatura provvisoria, è un solaio a travetti prefabbricati di laterizio e cemento armato. I travetti sono costituiti da laterizi disposti di testa e collegati tramite almeno tre tondini in acciaio, posti sopra le scanalature dei laterizi e murati con malta di cemento. I travetti vengono così stagionati e disposti in opera, per poi proseguire col getto di calcestruzzo negli spazi tra i travetti stessi, gettandovi anche una soletta superiore avente spessore di 2 o 3 centimetri armata, chiamata caldana. Un esempio di solaio costruito con travetti SAP è mostrato in Fig.2.28.

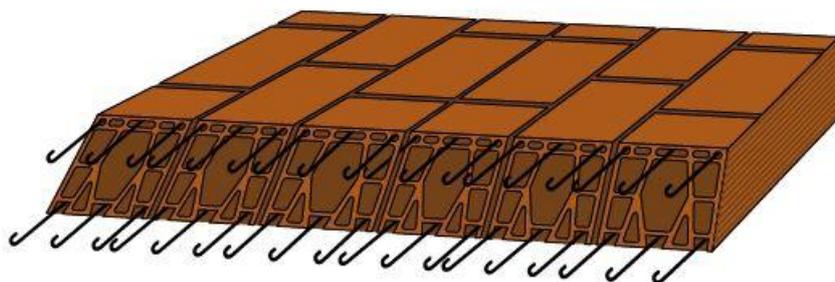


Fig. 2.28 Esempio di solaio costruito con travetti SAP

La sezione 3 è inoltre composta da un'ultima sottosezione che può essere compilata sia per le tipologie in muratura sia in cemento armato. Riguarda ambiti come copertura, aperture presenti in facciata, regolarità in pianta.

Le coperture da analizzare sono massimo le due più ricorrenti degli edifici presenti nella tipologia studiata. Il peso della copertura o l'eventuale effetto spingente sulle murature o maglie strutturali perimetrali influenzano notevolmente la risposta sismica degli edifici. Si considerano delle coperture leggere quelle costituite da elementi in acciaio e legno, sono invece pesanti quelle in cemento armato, considerando come spessore della caldana 3 o 4 centimetri. Come è successo ad Amatrice nel 2016 infatti, in seguito alla scossa di terremoto, le coperture in cemento armato hanno completamente sovrastato la struttura in ciottoli di fiume, mantenendosi quasi intatta sopra le rovine. Riguardo l'effetto spingente si tiene in conto la presenza di: cordoli, muri di spina, catene, travi di colmo rigide, capriate a spinta. Se vi è la presenza di muri di spina su cui poggiano le falde della copertura, quest'ultima non è spingente. In *Fig.2.29* si trova l'abaco delle coperture, in cui queste sono distinte in spingenti e non spingenti a seconda di presenza o assenza di: muri di spina, cordoli, catene, capriate.

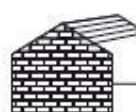
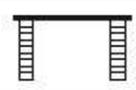
COPERTURA	CONFIGURAZIONE STATICA	NOTE
 SPINGENTE	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
	 <p>① ② ③ ④ ⑤ PRESENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
 COPERTURA CON SPINTA DIPENDENTE DA VINCOLI  COPERTURA GENERALMENTE NON SPINGENTE	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE PRESENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	<p><i>Il carattere più o meno spingente di questo schema dipende dalla rigidità della trave di colmo; travi snelle non consentono di limitare efficacemente l'azione spingente, pertanto, a vantaggio di sicurezza, si propone per questo schema la definizione spingente. Tuttavia se al colmo i travetti sono ben collegati alla trave rigida di colmo e al cordolo, la copertura può considerarsi non spingente.</i></p> <p><i>Vanno verificate le condizioni di vincolo al contorno (esistenza di efficaci collegamenti tra elementi) in modo che le travi trasmettono alle pareti di sostegno solo carichi verticali</i></p>
	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO PRESENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
	 <p>① ② ③ ④ ⑤ PRESENZA DI CORDOLO PRESENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
 COPERTURA NON SPINGENTE	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA PRESENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA PRESENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE</p>	
	 <p>① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO PRESENZA DI CAPRIATE</p>	
	 <p><i>Orditura principale disposta longitudinalmente all'inclinazione della falda e poggiate tra due muri perimetrali o tra due capriate a spinta eliminata.</i></p>	
	 <p><i>Copertura piana (presenza di travi orizzontali).</i></p>	

Fig. 2.29 Abaco delle coperture sulla base della spinta

E' importante inoltre definire in sezione 3.2 la percentuale di aperture presenti in superficie, potendo verificare nei casi di edifici muratura, in particolare, la variazione di spessore del sottofinestra. Per contare la superficie in questo caso occorre aggiungere anche i cosiddetti sottofinestra deboli. E' importante inoltre che le aperture siano disposte in modo regolare, non cambiando notevolmente le proprie dimensioni ed essendo allineate tra loro. Nel caso contrario, aumenterebbe la predisposizione dell'edificio nell'essere vulnerabile sismicamente.

La regolarità deve essere rispettata anche in pianta e in elevazione. Nel caso di irregolarità in pianta, quest'ultima si mostra in primo luogo quando non sono presenti nell'edificio gli assi di simmetria ortogonali tra loro, generando fabbricati a L,T,U,E (Fig.2.30). Oppure nel caso in cui il corpo scala non sia in posizione eccentrica rispetto gli assi (Fig.2.31), e gli edifici in pianta presentano angoli rientranti provocando una distribuzione non uniforme e non eccentrica delle masse (Fig.2.32).



Fig. 2.30 Esempio di irregolarità in pianta dovuto a disimmertia assi

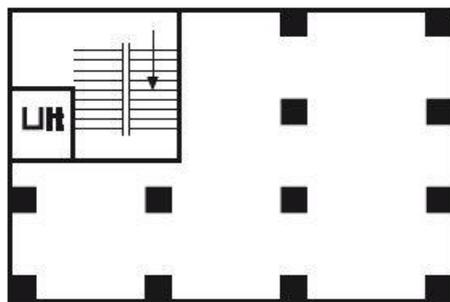


Fig. 2.31 Esempio di irregolarità in pianta dovuto a posizione corpo scala

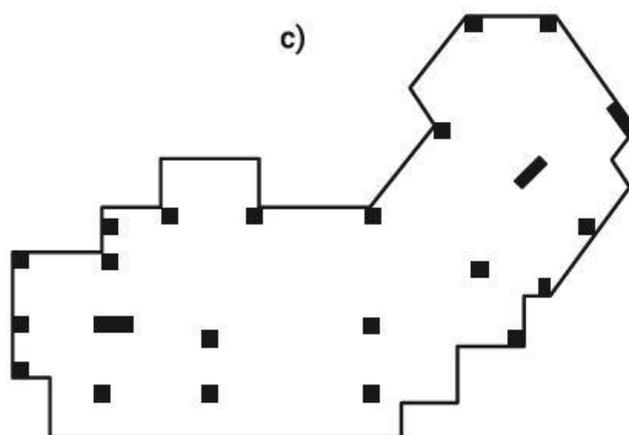


Fig. 2.32 Esempio di irregolarità in pianta dovuto a irregolarità strutturali

L'irregolarità critica nel campo sismico è anche l'irregolarità in altezza, la quale si verifica nel caso in cui le altezze creino sporgenze, o di conseguenza rientranze, oppure a causa di variazioni superficiali di oltre il 30%. Ciò provoca un'irregolarità del centro di rigidezza e del centro di massa, favorendo la vulnerabilità sismica dell'edificio. L'irregolarità in elevazione è rappresentata in Fig.2.33.

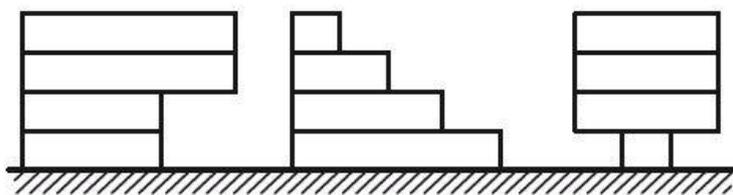


Fig. 2.33 Esempio di irregolarità in elevazione

E' importante definire gli interventi strutturali applicati all'edificio in precedenza, come interventi di adeguamento sismico, miglioramento sismico, rafforzamento. Ciò permette di rendere ancora più chiaro il quadro dell'edificio (per le schede CARTIS 2016) o della tipologia di edifici (CARTIS 2014).

Inoltre la sezione 3.2 permette di valutare la percentuale di superficie presente al piano terra, se più del 50%, tra il 20/30% o se minore del 20%; definire lo stato di conservazione dei fabbricati presenti in tipologia; definire la tipologia di scala, (ad esempio rampante o in legno) e di specificare la quantità di elementi non strutturali vulnerabili.

Le fondazioni devono essere specificate, massimo due tipi a tipologia di edificio studiata. E' importante inserire in assenza di informazioni almeno se questa risulta essere

CAPITOLO 3. APPLICAZIONE DELLA SCHEDA CARTIS ALLA CITTA' DI URBINO

3.1 Dati ISTAT

La città di Urbino, provincia di Pesaro-Urbino (Marche) presenta un numero di abitanti pari a 14 515, esplicazione del forte decremento demografico che ha investito la città da circa un decennio. Questo dato rappresenta un problema, infatti la città deve possedere un numero di abitanti maggiore di 15 000, altrimenti tra qualche anno si voterà per le elezioni comunali seguendo le regole previste per i comuni più piccoli, portando svantaggio alla provincia con possibile trasformazione in unica provincia 'Pesaro' (PS). La città necessita perciò di una fusione con altri comuni più piccoli, per poter ritornare al numero prestabilito di 15 000 residenti.

La città di Urbino negli ultimi anni ha perso circa un migliaio di abitanti, nel 2010 i dati ISTAT registravano circa 15 627 abitanti, diminuendo sempre di più e raggiungendo la soglia odierna di 14 515, più di mille in 7 anni. La città sta perdendo in media 150 abitanti all'anno, confermato dai dati che hanno mostrato una diminuzione di 74 abitanti rispetto al 2017 (dato non ancora certo in quanto l'anno solare non risulta ancora concluso). Gli abitanti delle frazioni sono coloro che hanno lasciato per di più la città, portando ad una diminuzione significativa.

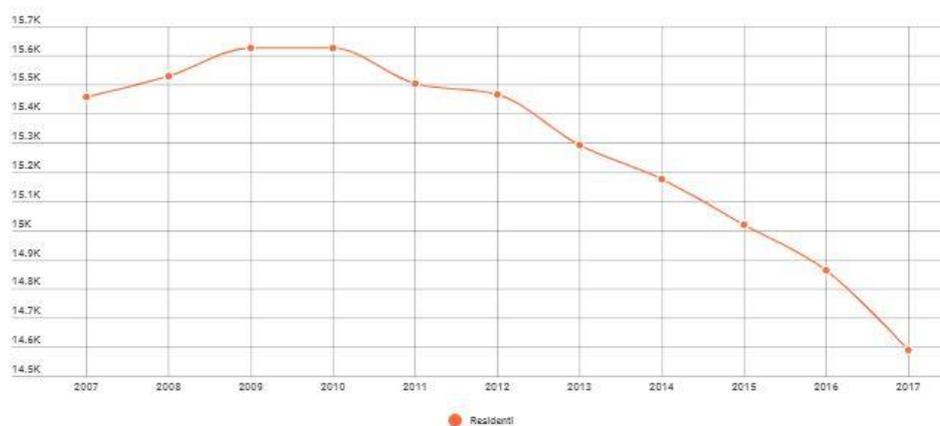


Fig. 3.1 Andamento residenti a Urbino nell'ultimo decennio

Il grafico mostra come nel 2007 fossero presenti 15 459 abitanti, nel 2008 15 528, nel 2009 15 627, nel 2010 15 627, per poi partire con l'andamento decrescente mostrato nell'anno 2011 con 15 503 residenti, 2012 con 15 466, 2013 con 15 292, 2014 con 15 176, 2015 con 15 019, 2016 con 14 861, 2017 con 14 589 per poi concludere con l'odierno anno 2018 che mostra 14 515 abitanti.

Si nota come questi dati siano confermati dal fatto che non esista un ricambio generazionale, a Urbino come in Italia, infatti su 191 urbinati morti sono stati registrati

solamente 80 neonati. Inoltre, la differenza tra i trasferimenti e nuovi residenti risulta essere di 134 unità nel 2017.

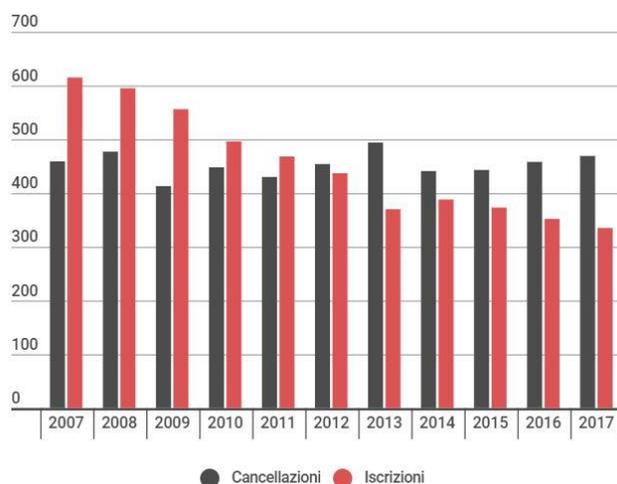


Fig. 3.2 Trasferimenti contro nuovi residenti nel comune di Urbino

L'istogramma sopra indicato è da completare tenendo in considerazione il fatto che molti stranieri abbiano abbandonato Urbino, probabilmente a causa della crisi economica che ha investito anche questa piccola città. Sette anni fa i residenti extracomunitari erano 1800, mentre ora poco più di 1400, ovvero il 10% del totale degli abitanti (come riportato in Fig. 3.3) [13].

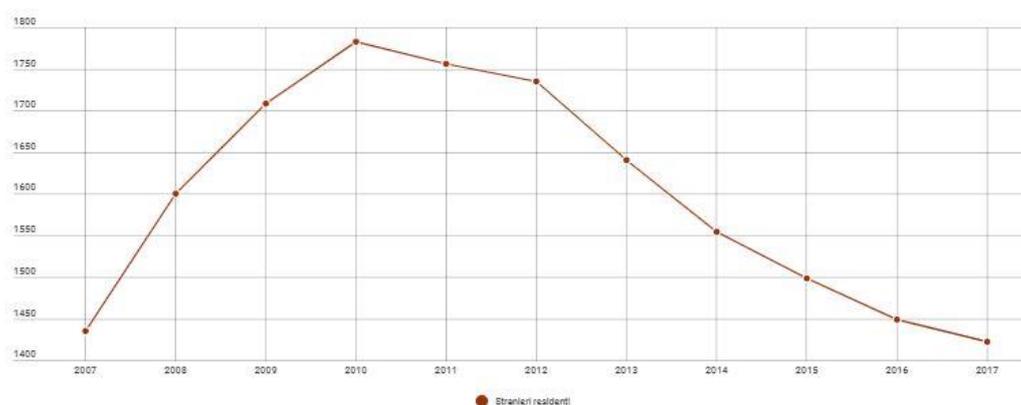


Fig. 3.3 Diminuzione andamento demografico degli stranieri residenti in Urbino

Un altro dato da considerare è l'indice di vecchiaia, è un indicatore statistico che permette di definire il peso della popolazione anziana in un dato paese. In Italia la popolazione presenta un elevato indice di vecchiaia, e anche Urbino, come mostrato in *Fig.3.4*.

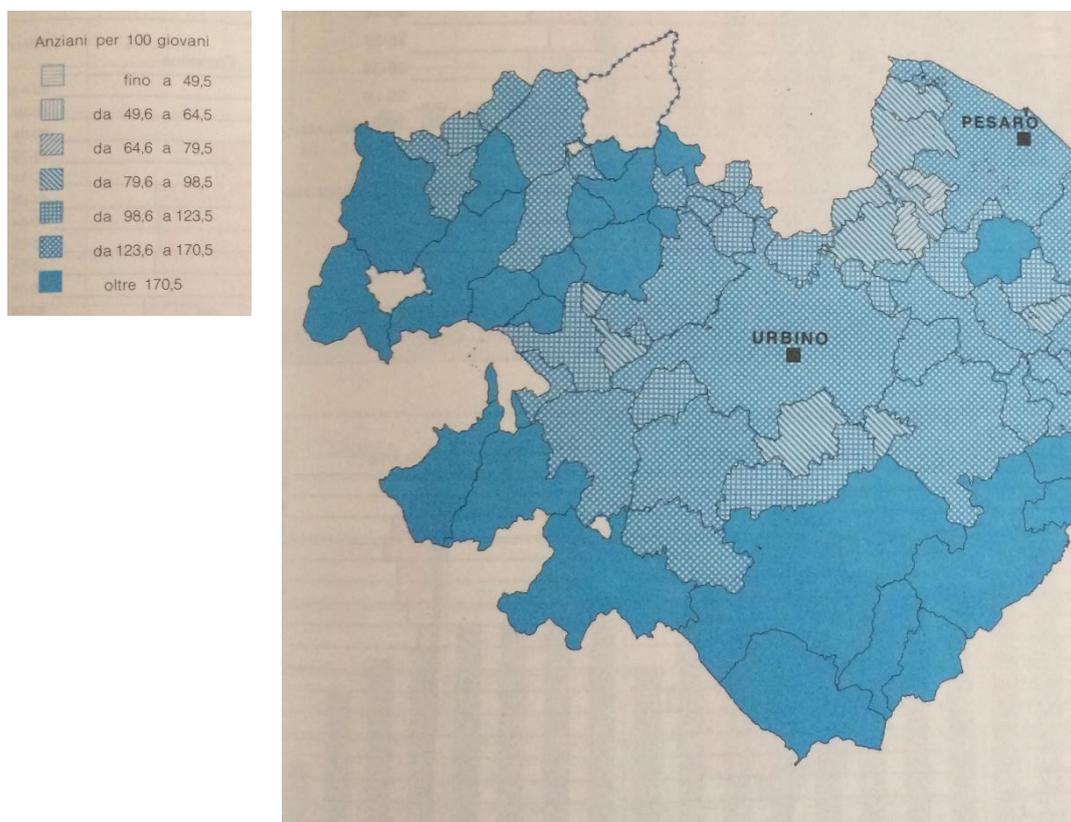


Fig. 3.4 Indice di vecchiaia per la provincia Pesaro-Urbino

La figura mostra come Urbino presenti un valore da 123,6 a 170,5, dove l'indice è determinato come il rapporto tra gli abitanti da 65 anni in poi, e quelli aventi meno di 14 anni, infine moltiplicato per cento. Urbino perciò presenta un indice di vecchiaia decisamente elevato, e più ci si sposta verso l'entroterra, più questo aumenta.

In seguito, in *Fig.3.5* sono mostrati alcuni dati che mostrano la variazione della popolazione residente in Urbino e frazioni negli anni 1951, 1961, 1971, 1981, 1991.

	1951	1961	1971	1981	1991	20.10.1991
URBINO città	6313	7324	7590	7647	6552	(1731 centro - 4821 fuori le mura)
Ca' Mazzasette - Fornace	698	490	306	247	245	(160 Ca' Mazzasette - 85 Fornace)
Canavaccio	—	469	619	681	738	(662 centro - 76 case sparse)
Castelboccione - Colonna	586	392	230	231	225	(141 Castelboccione - 84 Colonna)
Cavallino - Monte Calende	1157	834	492	512	503	(403 Cavall. - 100 Monte Calende)
Cavatucci - M.Polo - Villa Croce	—	493	342	327	307	(215 Cavat. - 67 M.Polo - 25 V.Croce)
Cerquetobono-Girfalco-Rancitella	1007	560	266	225	195	(2 Cerquet.-131 Girf.-62 Rancit.)
Coldelce	234	128	23	14	14	
Crocicchia - Tufo - Ghiaiolo	1071	722	566	518	538	(263 Croc.-224 Tufo-51 Ghiaiolo)
Forcuini - Pantiere	442	268	165	120	159	(75 Forcuini - 84 Pantiere)
Gadana	565	475	457	592	820	
La Marcella	393	266	169	135	110	
La Torre - Via Piana	823	537	360	355	338	(239 La Torre - 99 Via Piana)
Maciolla - Mazzaferro - Montesoffio	761	488	401	350	317	(95 Maciolla-96 Mazzaf.-126 Montes.)
Miniera - Pieve di Cagna	1159	516	423	689	626	(124 Miniera - 379 centro, 123 case sparse di Pieve di Cagna)
Monte Olivo-Monte Avorio-Pozzuolo	965	618	335	296	319	(26 M.Olivo-64 M.Avorio-229 Pozz.)
Paganico	683	342	84	39	26	
Palazzo del Piano - S.Maria d.Selve	521	294	122	98	108	(54 P. del Piano - 54 S.Maria d.Selve)
Pallino - Schieti	1002	802	623	681	721	(264 Pallino - 457 Schieti)
Repuglie	135	113	66	47	40	
S. Donato	785	695	738	760	602	
SS. Annunziata	212	136	146	135	120	
S. Marino	482	393	230	79	126	
Sasso - Tortorina	352	295	319	455	458	(346 Sasso - 112 Tortorina)
Scotaneto	229	189	140	99	76	
Trasanni	934	701	571	592	745	

Fig. 3.5 Cambiamento della popolazione residente in Urbino negli anni

La figura mostra un altro aspetto del cambiamento demografico: Urbino presentò negli anni '70 e '80 un forte aumento della popolazione, direttamente proporzionale allo sviluppo costruttivo in zone periferiche. Negli anni '90 si nota già un decremento che porterà ad una continua diminuzione fino ad arrivare all'anno 2018. Inoltre si evince come sia fondamentale la presenza delle numerosissime frazioni della città, aggiungendo una quantità di residenti notevoli.

3.2 Analisi della città di Urbino e del suo territorio

Urbino nasce e si sviluppa come centro fondamentale tra la costa e il territorio delle Comunità montane, chiamato Montefeltro. Il Montefeltro è un territorio che coinvolge 3 regioni, estendendosi tra le Marche, fino a raggiungere la provincia di Pesaro-Urbino, l'Emilia Romagna, a ovest della provincia di Rimini, la Toscana, a est della città di Arezzo, e infine la Repubblica di San Marino. Anticamente Urbino era la capitale del territorio, città natale di Raffaello Sanzio e sede dei Duchi di Montefeltro, ora città patrimonio dell'UNESCO.



Fig. 3.6 Estensione del territorio del Montefeltro

Il luogo di ubicazione di Urbino risulta essere fondamentale in quanto posizione centrale dell'entroterra del nord delle Marche. Urbino collega direttamente l'entroterra con la costa, pur non essendo sviluppata la linea ferroviaria (abbattuta nel periodo della seconda guerra mondiale). Anticamente la città era rinominata *Urvinum Mataurense*, di cui il primo sostantivo si riferiva a *Urvum*, che designava il manico dell'aratro, mentre il secondo deriva dalla vicinanza geografica al fiume Metauro (*Metaurus*). *Urvinum Mataurense* apparteneva alla XII tribù Stellatina di Roma e divenne municipio romano sotto il consolato di Giulio Cesare nel 46 a.C. con la '*Lex Julia Municipalis*'. Il collegamento principale della città con la costa fu da sempre la via Flaminia, la quale attraversa la provincia di Pesaro – Urbino e funge da collegamento tra Rimini e Roma. Inoltre, ai tempi di *Urvinum Mataurense*, le vie

di comunicazione romane alternative alla via Flaminia determinarono l'importanza strategica della città, come unico insediamento di carattere urbano in tutto il territorio.

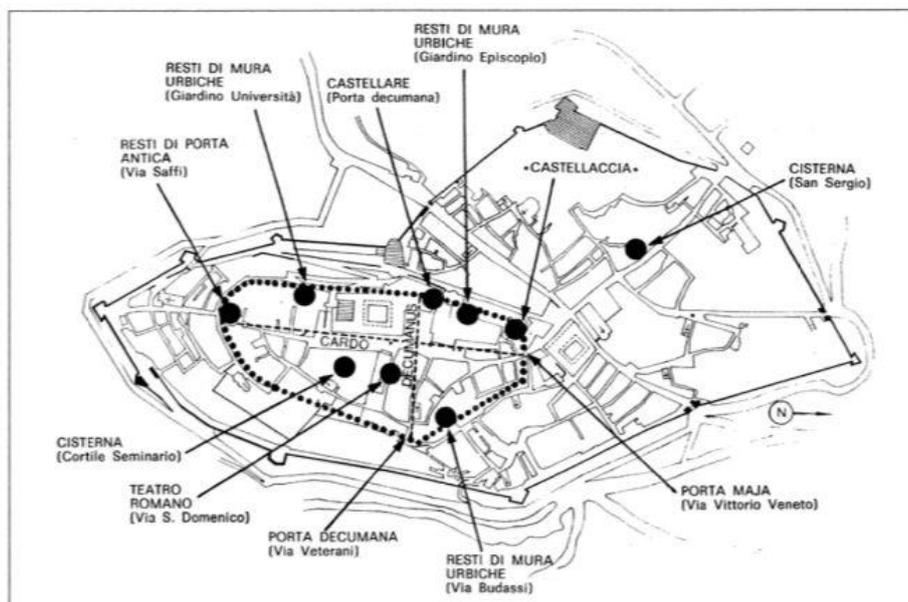


Fig. 3.7 Pianta di Urvinum Metaurense con i relativi rinvenimenti di resti romani

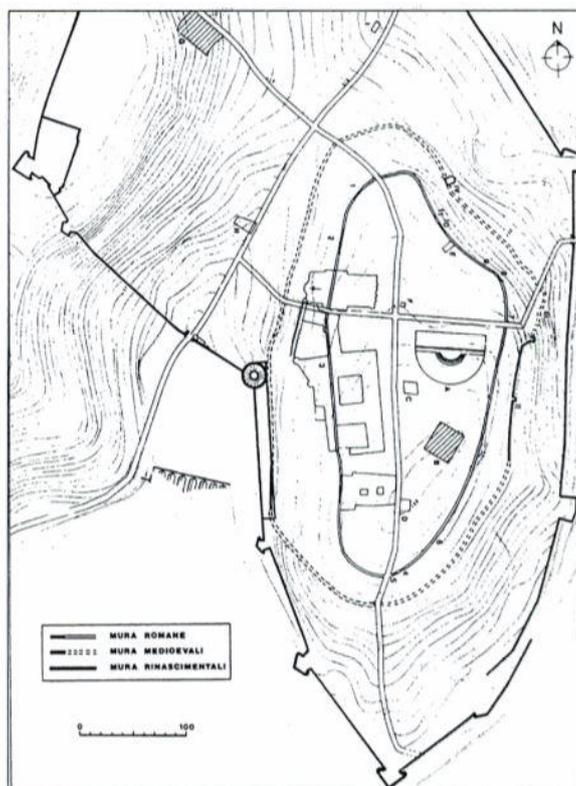


Fig. 3.8 Pianta di Urvinum Metaurense con evidenzate le mura romane della cinta urbana

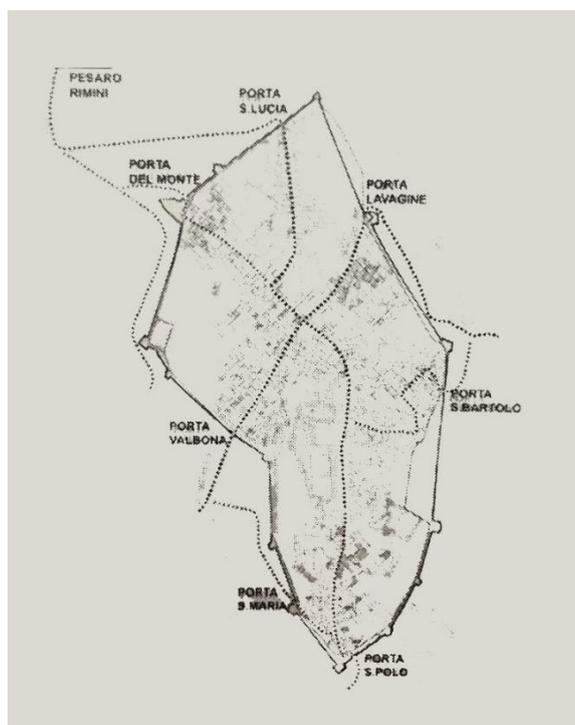


Fig. 3.9 Pianta di Urbino con evidenziate le Porte della città

Nel X secolo la crisi del papato provocò l'assenza vescovile per oltre 100 anni, in questo periodo il potere città passò nelle mani delle famiglie più potenti che crearono il nuovo potere comunale. Verso metà del XIII secolo e inizio XIV, la città di Urbino si trasformò da capoluogo del distretto montano a piccola capitale. Nel 1375 vi fu la presa del potere da parte di Antonio da Montefeltro, lo Stato di Urbino (Urbino, Cagli, Gubbio e il Montefeltro) ebbe una funzione di cuscinetto tra le forze della Chiesa e quelle dell'imperatore. In quel periodo l'economia urbinata era sostanzialmente sostenuta dalla spesa pubblica e dai ricavi delle campagne militari.

Nel XV e XVI secolo Federico da Montefeltro fu al centro dell'intricato sistema degli stati italiani. Urbino non si ampliò e conservò l'impianto urbano completato alla fine del 300; nel 1591 la popolazione raggiunse un numero pari a 20 791 abitanti, 4900 dei quali erano residenti all'interno delle mura. Nel 1538 in seguito, ci fu la ricostruzione delle mura della città, il che sancì definitivamente la forma urbana. In seguito alla morte del duca Federico da Montefeltro iniziò il lento declino della città. Seguì nel XVII secolo una situazione economica piuttosto critica, definibile come depressa e stagnante. Nel 1600 la popolazione registrata fu di 4161 abitanti, non comprendendo i bambini sotto i tre anni.

Nel 1700 grazie all'ascesa al papato dell'urbinate Gian Francesco Albani (CLEMENTE XI) ci fu la possibilità di un forte rinnovamento civile ed edilizio, definendo l'attuale

conformazione architettonica del centro storico. Inoltre il numero di abitanti continuò ad aumentare, raggiungendo i 5574 abitanti nel 1736.

In seguito, nel 1797 si verificò l'invasione francese, concludendosi il regime della legazione. Sotto il regime Napoleonico iniziarono i nuovi lavori per il miglioramento delle comunicazioni stradali. Si costruirono:

- la nuova strada per Pesaro nel fondovalle,
- i collegamenti per la nuova strada per Firenze,
- la nuova 'bretella' da Urbania,
- il Giro dei Debitori,
- la nuova strada verso il Montefeltro con possibilità di raggiungimento di Macerata Feltria.

Dunque i periodi di sviluppo più prosperosi di Urbino furono principalmente determinati dalla presenza di personaggi storici di rilievo, i quali permisero di convogliare sulla città più risorse esterne possibili, inoltre la centralità della città rispetto al Montefeltro è sempre stato un elemento notevolmente favorevole alla condizione della città.

Un momento importante per la storia di Urbino fu l'espansione avvenuta a partire dagli anni '50 per opera dell'architetto Giancarlo De Carlo. Tra il 1952 e il 1960 fu restaurata la sede centrale dell'università, mentre nel 1955 furono costruite le case per i loro dipendenti. Il benessere percepito in quegli anni era dimostrato anche dall'aumento continuo del numero dei residenti, infatti nel 1951 fu registrato l'incremento massimo storico del numero degli abitanti di Urbino, raggiungendone 22986. De Carlo si occupò della redazione del PRG del '64 e del '94. Negli anni 60 il centro storico si trovava in condizioni pessime, e non si poteva contare: sull'agricoltura (le campagne erano molto misere), sull'industria (radicata nei comuni limitrofi), e sul commercio (l'attività commerciale era vincolata da forti difficoltà). L'obiettivo principale di De Carlo era quello di portare di nuovo la prosperità a Urbino, recuperando il centro storico e puntando sull'università e il turismo, e così fu. Vennero costruiti i quartieri 'Piantata' e 'Mazzaferro' in seguito agli anni '70, provocando un grande sviluppo edilizio al di fuori delle mura. Il PRG del 94 fu nuovamente preso in carico da De Carlo, ponendosi vari obiettivi per poter permettere un rafforzamento dell'offerta turistica: realizzazione di un albergo di grande qualità nel centro storico; realizzazione di due alberghi di qualità nelle zone di nuova espansione; individuazione nelle aree di parco di attrezzature turistiche; espansione del tessuto edilizio nelle frazioni, incentivandolo con quote di espansione residenziale. Il PRG puntava al

raggiungimento dei 25000 abitanti, obiettivo ormai irraggiungibile dato che i residenti di Urbino attualmente non arrivano nemmeno a 15000.

Il problema principale della mancanza di residenti all'interno della città di Urbino dipende dall'assenza di lavoro. Solitamente si abita dove si trova lavoro, non a caso i comuni che incrementano costantemente il numero di abitanti sono: Fermignano (terzo polo industriale della regione Marche), Pesaro, Fano e comuni della Romagna (più attivi turisticamente e con città molto più grandi). La creazione di nuove opportunità di lavoro provoca proporzionalmente una crescita degli abitanti:



E' infine fondamentale che Urbino sfrutti i suoi punti di forza quali: le strutture universitarie (Università, ISIA, Accademia delle belle arti, Scuola del Libro, infrastrutture che permettono di dare spazio alla creatività); il fatto che Urbino sia patrimonio dell'UNESCO; le strutture e i servizi pubblici a livello intercomunale. Occorre superare ostacoli quali la debolezza di: infrastrutture, industria, artigianato, commercio, e incrementare sempre di più il turismo [14].

3.2.1 Distribuzione della sismicità nel territorio marchigiano

In seguito alla redazione delle NTC sono state effettuate delle modifiche in termini di progettazione, definendone una metodologia a seconda del luogo in cui l'edificio è ubicato,

tramite la mappa di pericolosità sismica nazionale. Il territorio italiano è composto da 4 zone sismiche:

1. *Zona 1*: in cui i terremoti ad alta intensità sono frequenti;
2. *Zona 2 e Zona 3*: in cui il sisma è forte ma poco frequente, oppure moderato ma si verifica spesso;
3. *Zona 4*: in cui i terremoti sono difficilmente probabili.

Si progetta in zona 1 per permettere la resistenza degli edifici evitando il crollo, in seguito a terremoti di elevata intensità. In zona 4 invece ci si limita alla tutela della sicurezza di edifici strategici e soggetti a frequente affollamento.

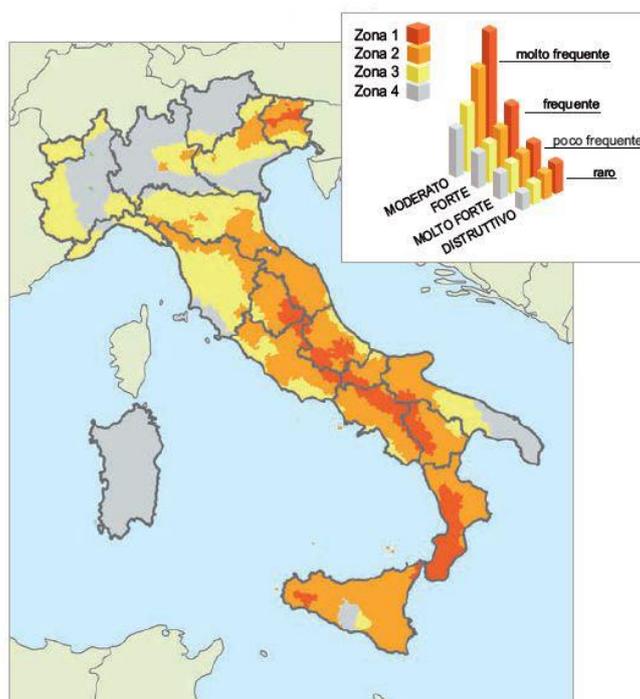


Fig. 3.10 Rappresentazione delle zone sismiche in Italia

I primi comuni della regione Marche soggetti a classificazione sismica sono stati Pesaro e Ancona, in seguito ai sismi che hanno investito l'Italia negli anni: 1916, 1919, 1930. Successivamente, nel 1943 circa 10 comuni della provincia di Ascoli Piceno e tra il 1981 e il 1984 tutti i restanti comuni marchigiani in zona 2, dopo l'avvento del terremoto in Irpinia. A causa dell'ordinanza PCM n. 3274/2003 sono state aggiornate le corrispondenze alle zone sismiche, nel caso delle Marche tutti i comuni sono rimasti in zona 2, eccetto i 6 comuni precedentemente colpiti dai terremoti classificati in zona 1, e una piccola zona delle

Marche meridionali in zona 3. La variazione di classificazione sismica si può osservare nella seguente figura (Fig. 3.11).

Per quanto riguarda il rischio sismico nelle Marche, si possono distinguere diversi livelli di pericolosità, anche se il rischio è medio e si distribuisce uniformemente in tutta la regione. Al contrario di parecchie regioni italiane, le Marche presentano una classificazione sismica successiva al 1984. Ciò ha permesso una manutenzione e una progettazione adeguata alla normativa vigente, anche se i recenti eventi del 2016 hanno comunque provocato danni disastrosi.

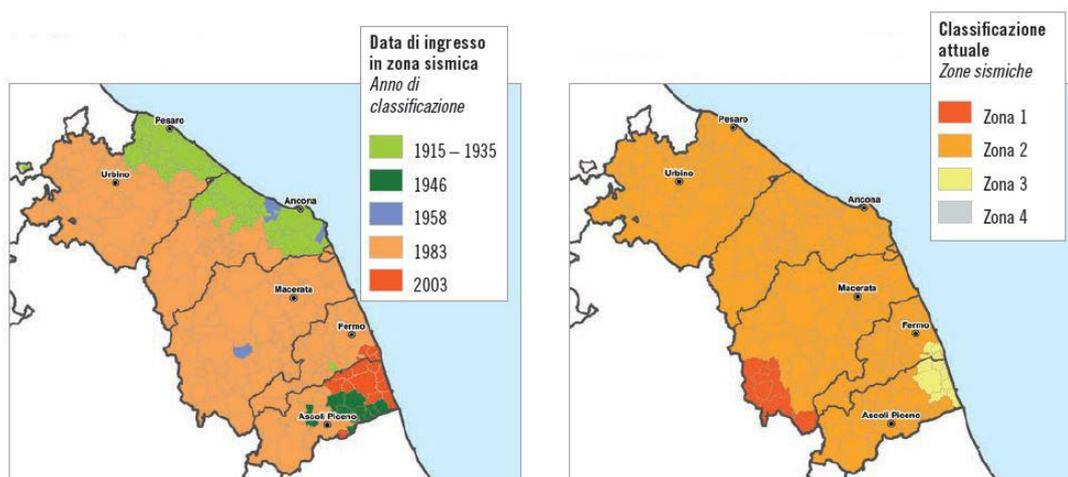


Fig. 3.11 Evoluzione della classificazione sismica in seguito al PCM n. 3274/2003

Le zone marchigiane più vulnerabili sismicamente sono quelle distribuite verso l'appennino, sono meno abitate e ciò comporta un conseguente danneggiamento meno gravoso degli edifici, la zona è dunque caratterizzata da bassa esposizione. Inoltre molti edifici sono stati costruiti nuovamente in seguito al terremoto del 1997. Al contrario, la zona costiera presenta terremoti meno frequenti e relativamente meno forti (ad esempio, come il più recente avvenuto il 31 agosto 2018 tra le coste di Pesaro e Cattolica, avente intensità 3.7). Come contro però è più abitata e ospita la maggior parte di industrie, strade e ferrovie. Gli edifici che presentano una maggior vulnerabilità sono ovviamente quelli costruiti in muratura, in seguito in Fig. 3.12 è rappresentata la percentuale degli edifici in muratura nella classe di vulnerabilità più elevata A.

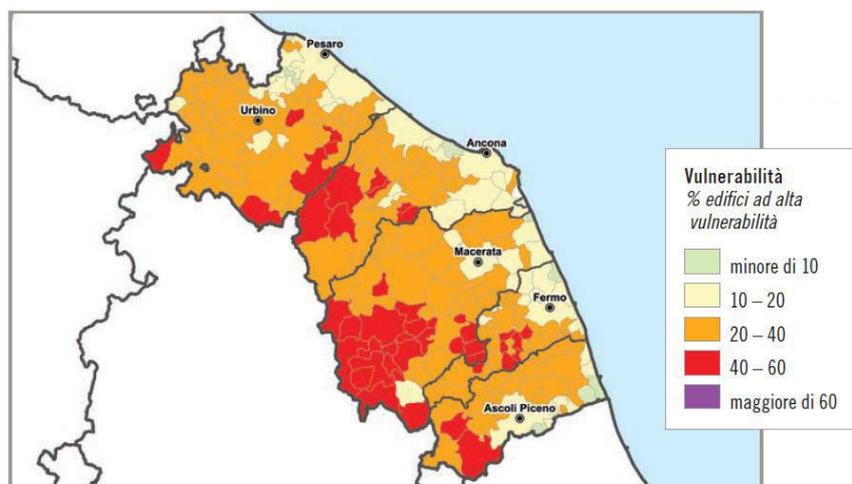


Fig. 3.12 Percentuale di vulnerabilità edifici in muratura

Per quanto riguarda invece la pericolosità sismica del territorio marchigiano, si tratta di una pericolosità strettamente uniforme e di livello medio-alto. Si possono quindi verificare terremoti ad alta intensità e distruttivi. Per indicare la pericolosità sismica si utilizza un indice di accelerazione massima al suolo, PGA. I valori di accelerazione al suolo corrispondenti alla regione Marche sono mediamente compresi tra 0,15 e 0,25 g. I valori sono stati attribuiti tenendo conto della storia sismica della regione, a cui sono attribuiti come terremoti di massima intensità quello del 1781 del Cagliese (M_w 6.4) e del 1950 di Senigallia (M_w 5.8).

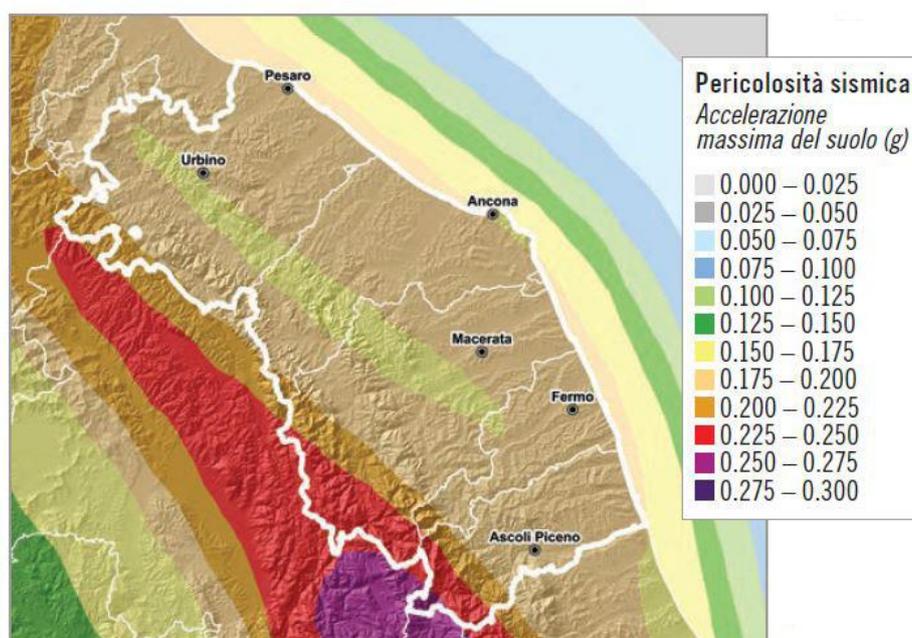


Fig. 3.13 Pericolosità sismica nelle Marche

Possono essere inoltre riportati anche altri terremoti di intensità significativa, i quali hanno influenzato significativamente la storia delle Marche dal punto di vista sismico. Oltre ai due eventi catastrofici di Pesaro-Urbino e Senigallia si ricordano i seguenti terremoti: Fabriano, M_w 6.2; Alta Val di Chienti-Colfiorito con tre eventi di M_w 6.0, 5.0 e 5.7. Inoltre l'area collinare interna è caratterizzata da attività sismiche rare, tra le quali due significative: M_w 5.8 nella zona di Castignano-Offida del 1943; M_w 5.3 a Montefortino nel 1972. La recente sismicità è provocata da una lunga sequenza verificatasi nel 1997-1998, che provocò forti danni a Macerata, Perugia e provincia. La sequenza ebbe luogo il 4 settembre 1997 con intensità 4.4 a Foligno, e durò per più di sei mesi con più di 6000 scosse di assestamento. I due eventi più forti avvennero il 26 settembre 1997 (M_w 5.7) e (M_w 6.0), altri con intensità non superiore a 5.0 a ottobre 1997 e marzo 1998. In Fig.3.14 si mostra la distribuzione della sismicità storica negli ultimi mille anni, mentre in Fig.3.15 quella di intensità maggiore a 5.0 in seguito al 1981.

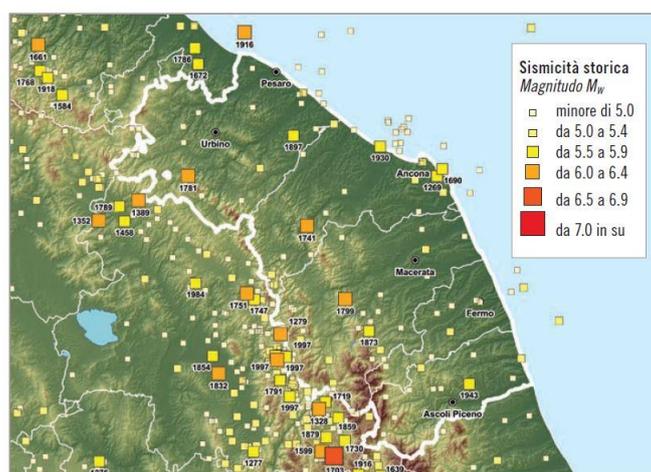


Fig. 3.14 Distribuzione della sismicità storica negli ultimi mille anni

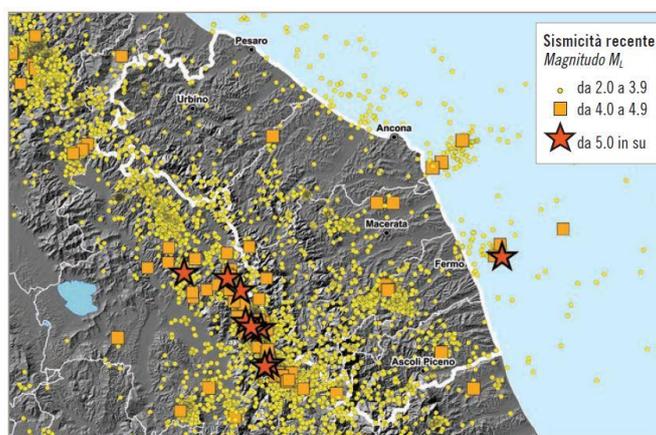


Fig. 3.15 Sismicità recente di intensità maggiore a 5.0 in seguito al 1981

Un altro elemento che permette di valutare la pericolosità sismica di un'area è lo studio delle singole storie sismiche delle località prese in esame. Ciò permette di ripercorrere come gli sciami sismici si siano abbattuti e di conseguenza di valutare la pericolosità della zona. Il territorio marchigiano presenta una vasta storia, come si può notare dalla tabella riportata di seguito *Tab. 3.1*.

Tab.3.1 Principali terremoti storici avvenuti nelle Marche prima del 2016

Data	Area epicentrale	I _{MAX}	M _W
1279 04 30	Camerino (MC)	10	6.3
1328 12 01	Norcia (PG)	10	6.4
1352 12 25	Monterchi (AR)	9	6.4
1389 10 18	Bocca Serriola	9	6.0
1599 11 06	Valnerina	9	6.0
1690 12 23	Anconetano	8-9	5.6
1730 05 12	Valnerina	9	5.9
1741 04 24	Fabrianese	9	6.2
1747 04 17	Nocera Umbra	9	5.9
1751 07 27	Appennino umbro-marchigiano	10	6.2
1781 06 03	Cagliese	10	6.4
1789 09 30	Valtiberina	9	5.8
1799 07 28	Appennino marchigiano	9-10	6.1
1832 01 13	Valle del Topino	10	6.3
1873 03 12	Marche meridionali	9	5.9
1917 04 26	Valtiberina	9-10	5.9
1930 10 30	Senigallia (AN)	8-9	5.8
1943 10 03	Marche meridionali-Abruzzo	9	5.8
1979 09 19	Valnerina	8-9	5.9
1997 09 26	Appennino umbro-marchigiano	9	6.0

In *Tab.3.1* non sono riportate le intensità dei terremoti avvenuti nel 2016 e 2017, di intensità 6.0 e 5.9. La tabella mostra come nel 1741 si abbatté un terremoto molto violento che investì le Marche settentrionali. L'area epicentrale era a Fabriano, in cui crollarono circa 40 case e 800 edifici rimasero danneggiati. Inoltre il sisma colpì la rocca, la cattedrale e quasi tutte le chiese e conventi, facendoli crollare o comunque danneggiandoli notevolmente, con conseguente morte di una decina di persone. Il terremoto coinvolse gran parte del territorio marchigiano, a partire da Pesaro, Urbino, Urbania, Macerata, Camerino e Fermo, e del territorio umbro. In *Fig. 3.16* è riportata la distribuzione degli effetti generati dal terremoto del 1741 [15].

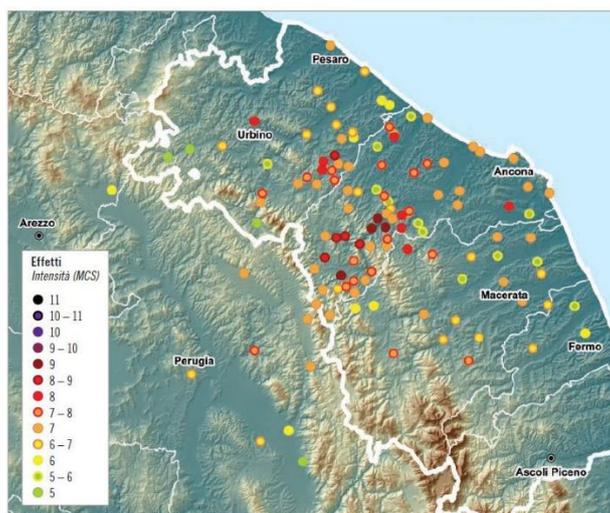


Fig. 3.16 Effetti generati dal terremoto del 1741 nel Fabrianese

3.3 Compilazione della scheda CARTIS applicata a Urbino

La scheda CARTIS si distingue in scheda di primo e di secondo livello, quella di primo livello (2014) si riferisce alla descrizione dell'intera tipologia edilizia considerata, mentre quella di secondo livello (2016) a un particolare edificio presente in tipologia, descrivendolo e valutandone la vulnerabilità in modo più dettagliato.

In primo luogo occorre definire il numero di zone omogenee, si è deciso di considerarne 3:

1. Centro Storico, che comprende edifici costruiti prima del 1500;
2. Area di prima espansione dal dopoguerra, che comprende edifici costruiti in seguito al 1920;
3. Zona di espansione successiva agli anni '70, in cui la città ebbe una maggiore espansione del tessuto edilizio, legato alla forte prosperità economica e di crescita del tempo.

La sezione 0 consiste nell'identificazione del comune e dei comparti, vengono definiti i dati di localizzazione tramite codice ISTAT, e il numero di residenti, edifici e abitazioni:

Tab.3.2 Dati presenti in sezione 0

Regione Marche	Codice ISTAT: 011
Provincia di Pesaro-Urbino	Codice ISTAT: 041
Comune di Urbino	Codice ISTAT: 067
Numero totale residenti del comune	14515
Anno di prima classificazione sismica	1984
Anno di approvazione PRG	1997
Numero totale abitazioni	7998
Numero totale edifici	1925

	EPOCA	RESIDENTI [N°]	EDIFICI [N°]	SUPERFICIE COPERTA [m ²]	ABITAZIONI [N°]
CENTRO STORICO	1400	17850	500	15,0 x 10 ⁴	1485
AREA DI PRIMA ESPANSIONE DAL DOPOGUERRA	1920	19965	490	14,7 x 10 ⁴	2452
ZONA DI ESPANSIONE	1970	15582	800	24,0 x 10 ⁴	4011

I dati raccolti nelle tabelle sono il risultato di una stima, in quanto difficilmente è possibile raccogliere tali informazioni con precisione. Perciò si è indicato nella sezione affidabilità delle informazioni la casella 'media'.

I tre comparti che costituiscono Urbino sono stati definiti sulla base delle tipologie edilizie. Il centro storico presenta costruzioni in muratura a sacco, le quali sono state realizzate in epoca anteriore al 1500. Il centro storico di Urbino è patrimonio dell'UNESCO, perciò non è possibile costruirvi nuove abitazioni. Prevalentemente si tratta di case a schiera, qualche caso raro presenta la realizzazione di ville isolate. In seguito al 1920 (periodo successivo alla fine della guerra) sono stati costruiti edifici al di fuori della cinta muraria della città, distinguendosi in abitazioni in muratura, e allo stesso tempo qualche prima realizzazione in cemento armato oppure in struttura mista muratura e cemento armato. Infine dopo il 1970 vi fu una forte espansione edilizia, la città si stava arricchendo e lo dimostrò la forte espansione anche nel settore costruttivo. Le tipologie edilizie sono ubicate nella zona periferica della città, prima campagna, ora quartieri residenziali. Si tratta di costruzioni prevalentemente in cemento armato, per lo più condomini. Una tipologia si differenzia dalle altre all'interno del terzo comparto: le case in legno realizzate negli anni 2000. Queste ultime presentano una struttura mista in cemento armato e legno.

Inizialmente si è pensato di aggiungere un quarto comparto, che comprendeva le costruzioni realizzate in seguito al 2010. Purtroppo però non sono risultate particolarmente rilevanti, si trattava di pochissimi edifici non significativi. Per questo motivo si è deciso di mantenere le 3 zone definite in primo luogo.

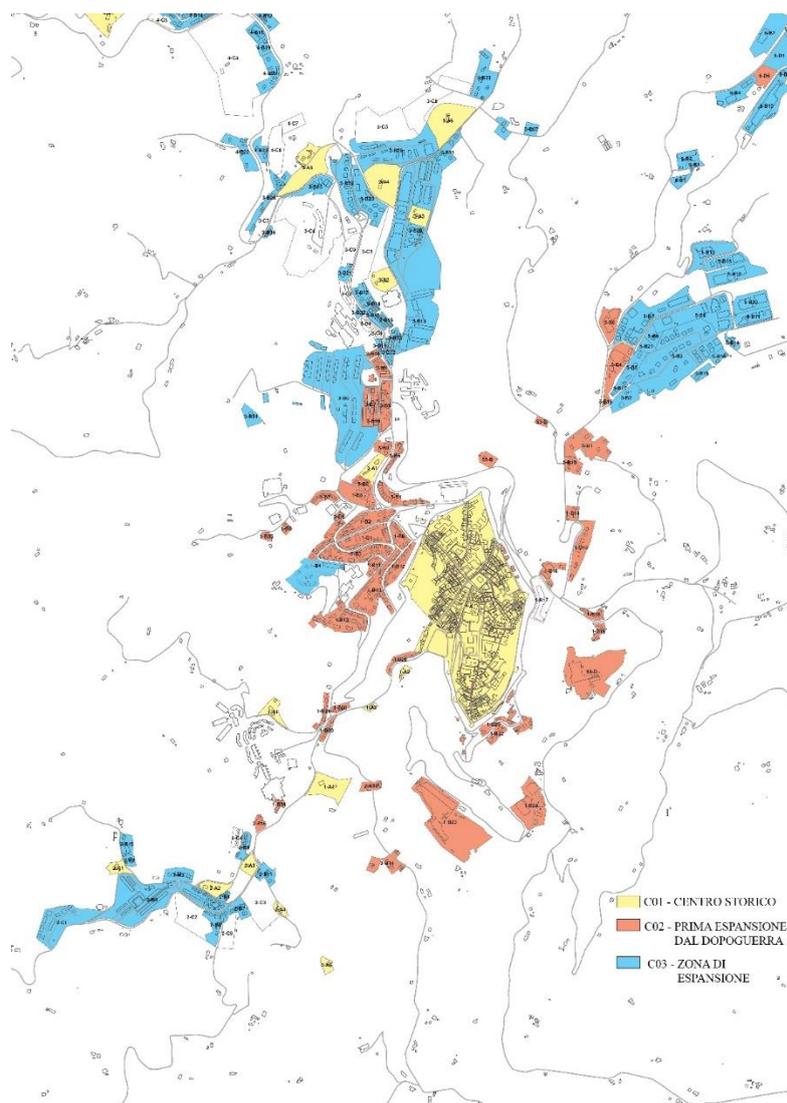


Fig. 3.17 Delimitazione comparti nella città di Urbino

3.3.1 Comparto 1 – Centro storico

Il centro storico comprende varie tipologie di edifici, anche se ognuna di esse è costruita in muratura. La posizione del comparto si trova esattamente nel cuore della città, e si estende in periferia in corrispondenza di antiche ville poi oggetto di ristrutturazione.

La muratura si presenta in tutti i casi regolare, in mattoni, con la presenza di muratura a sacco. Nel caso in cui fossero presenti le volte sono previste catene o cordoli in grado di permettere un miglioramento sismico, il solaio è generalmente in legno con mezzane, la copertura è a falde inclinate e in legno, e le fondazioni sono superficiali oppure profonde, generalmente in pietrame o blocchi squadrati.

La prima tipologia *C01 MUR 1* comprende edifici di circa 3 o 4 piani, strettamente connessi tra loro, alcuni staticamente indipendenti, altri in connessione (caratterizzati dunque da

strutture interagenti). Si tratta di costruzioni spesso ristrutturate sia internamente sia esternamente, per quanto riguarda ad esempio il recupero delle facciate. Gli edifici non oggetto di interventi di recupero presentano coperture e facciate in degrado e dovrebbero essere rinforzate strutturalmente. L'uso è prevalentemente abitativo, con attività commerciali al piano terra in vari casi. In *Fig.3.18* si mostra l'edificio analizzato all'interno delle schede di secondo livello come rappresentativo della tipologia analizzata (*C01 MURI*). L'edificio è situato nel centro storico di Urbino, presenta 4 piani e un'altezza media compresa tra 2,5 e 3,5 m.



Fig. 3.18 Edificio rappresentativo della tipologia C01 MURI

Gli edifici della tipologia sono solitamente irregolari in pianta, anche se mantengono la regolarità in altezza. Gli elementi non strutturali vulnerabili e in cattive condizioni sono tramezzi non strutturali, i manti di copertura, e i cornicioni, inoltre un ulteriore elemento di vulnerabilità è rappresentato dalla presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, che rappresentano riduzioni localizzate della sezione muraria.

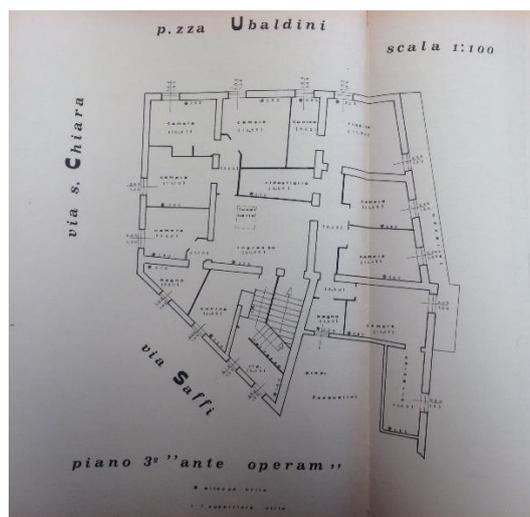


Fig. 3.19 Pianta irregolare dell'edificio rappresentativo della tipologia C01 MUR1

La seconda tipologia C01 MUR 2 comprende costruzioni per lo più isolate in aggregato. Si tratta di costruzioni di 3 o 4 piani, caratterizzati da un interrato e soprattutto dalla presenza di volte al piano terra. Si tratta di volte a botte oppure a crociera, non sempre presenti in tutte le abitazioni. Gli edifici sono irregolari in pianta ma regolari in elevazione, e su di essi sono stati applicati interventi locali di ristrutturazione o miglioramento sismico. L'edificio presenta le medesime caratteristiche degli edifici della categoria a cui appartiene, quindi costruzione in muratura, copertura in legno, mentre a differenza delle altre tipologie la distribuzione delle aperture è regolare ma rada e distanziata, e le scale sono state ricostruite a soletta rampante.

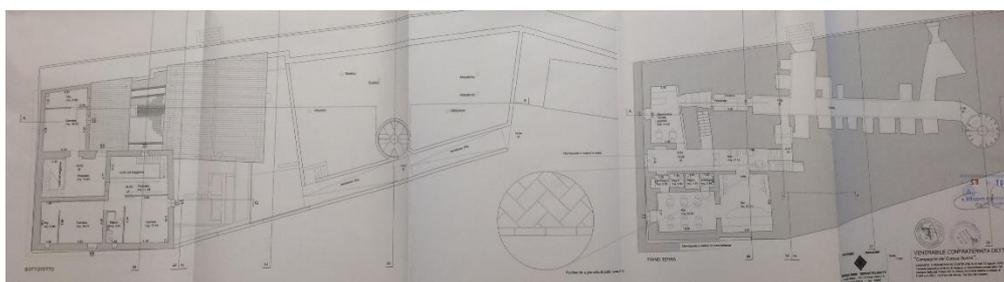


Fig. 3.20 Pianta irregolare dell'edificio rappresentativo della tipologia C01 MUR2

L'abitazione di riferimento descritta nelle schede di secondo livello è situata nella zona centrale della città, ed è rappresentata in Fig. 3.21.



Fig. 3.21 Edificio rappresentativo della tipologia C01 MUR2

La terza tipologia della categoria *C01 MUR3* coinvolge edifici completamente isolati, ville in muratura che sono state costruite prima del 1500 e hanno subito processi di ristrutturazione, strutturale oppure locale. Corrisponde al 20% del totale delle abitazioni presenti nel comparto e si tratta di edifici situati nella periferia di Urbino. I fabbricati presentano una forte irregolarità in pianta e in elevazione, e se non ristrutturati sono caratterizzati da un forte degrado del manto di copertura, dei solai e delle facciate. Dovrebbero perciò essere oggetto di ristrutturazione strutturale oppure di interventi locali. L'edificio scelto in rappresentazione della tipologia è situato nella periferia della città, presenta 5 piani aventi altezza compresa tra 2,5 e 3,5 m, non comprende piani interrati ed è caratterizzato da uso abitativo. L'edificio è in muratura, con copertura in legno a falde inclinate, con scale progettate in legno, e presenta una percentuale di aperture in facciata piuttosto elevata. E' stato oggetto di interventi locali negli anni '80, e al giorno d'oggi si trova in ottime condizioni. L'edificio non contiene volte, e presenta fondazioni discontinue. Gli elementi vulnerabili non strutturali sono i comignoli, i tramezzi non strutturali e i cornicioni.

In *Fig. 3.22* è riportata la pianta del piano terreno dell'edificio, caratterizzata da forte irregolarità.

edifici presenti nel comparto sono caratterizzati da regolarità in pianta e altezza in prevalenza, non presentano a differenza delle costruzioni del primo comparto interventi di ristrutturazione, anche se non necessari dal punto di vista strutturale. Allo stesso tempo gli edifici sono caratterizzati da forte degrado delle coperture e delle facciate (tinteggiatura, intonaco).

La prima tipologia rappresentativa del comparto 2 *C02 CARI* è situata in prossimità del centro storico, anche se al di fuori delle mura. Si tratta di edifici piuttosto in degrado, e per la prima volta costruiti in cemento armato. Sono caratterizzati da regolarità in pianta e in elevazione, e non sono stati oggetto di interventi di ristrutturazione o recupero in facciata, infatti quest'ultima risulta essere danneggiata a causa di degrado di tinteggiatura e intonaco. Inoltre gli edifici di questa tipologia hanno i cornicioni in cemento armato come punto debole, oggetto di vulnerabilità non strutturale assieme ai tramezzi non strutturali, i comignoli, i balconi e i cornicioni. Le fondazioni sono continue, le scale a soletta rampante, la copertura a falde inclinate e in cemento armato. La percentuale di aperture nell'edificio rappresentativo della tipologia non è eccessiva, i giunti sono a norma, vi è prevalenza di telai tamponati con murature consistenti. Un forte elemento di vulnerabilità dell'edificio è la posizione della tamponatura rispetto al telaio, risulta essere infatti non perfettamente inserita. L'interasse medio tra i pilastri è invece minore di 4,5 m, e non sono caratterizzati da bow window. Non è stato possibile compilare la parte relativa alle armature dei pilastri a causa di assenza di informazioni. Infine le aperture sono poste in corrispondenza degli angoli del fabbricato e non regolari nella parte centrale della facciata.

In *Fig. 3.24* è possibile osservare l'edificio rappresentativo della tipologia *C02 CARI*, mentre in *Fig. 3.25* la relativa pianta e sezione. Si osservano tutte le caratteristiche elencate in precedenza.



Fig. 3.24 Edificio rappresentativo del comparto C02 CAR1

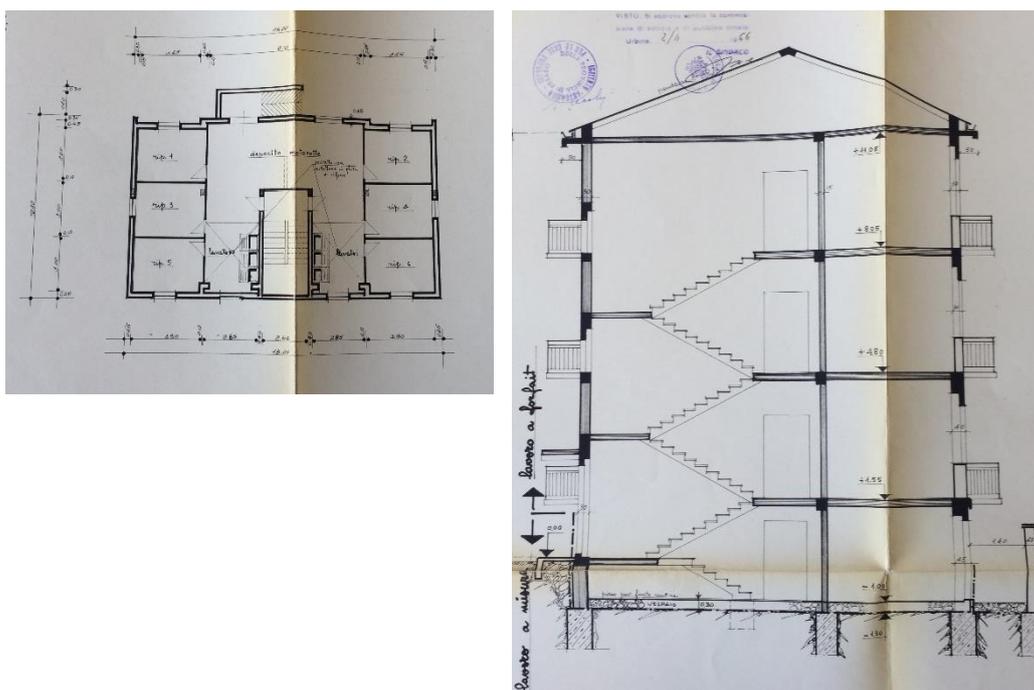


Fig. 3.25 Pinta e sezione dell'edificio rappresentativo del comparto C02 CAR1

La seconda tipologia di costruzione appartenente al comparto numero due consiste in edifici in muratura costruiti in seguito al 1920, il cui edificio rappresentativo corrisponde a una costruzione in muratura situata esattamente al di fuori della cinta muraria della città. Il codice a cui corrisponde nella compilazione della scheda Cartis è C02 MURI.

La tipologia in esame è isolata rispetto le costruzioni adiacenti, e spesso sono utilizzate catene o cordoli per permettere un miglioramento sismico adeguato. Gli edifici sono caratterizzati da regolarità in pianta e in elevazione, osservabile grazie alla Fig. 3.26 e Fig.3.27.

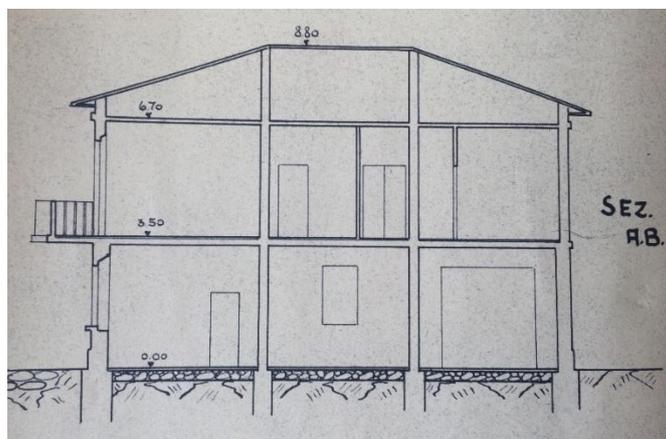


Fig. 3.26 Sezione dell'edificio rappresentativo del comparto C02 MUR1

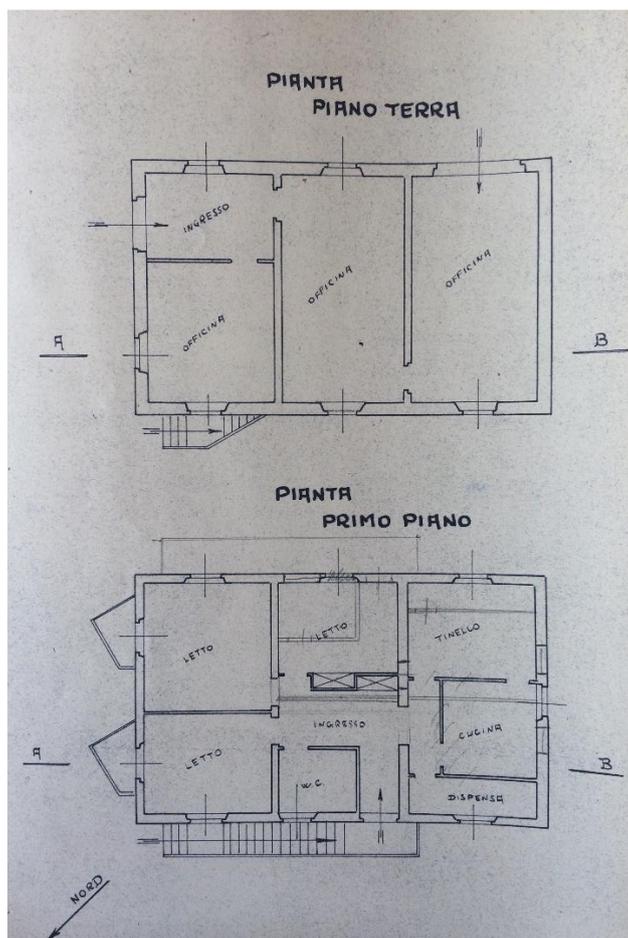


Fig. 3.27 Piante dell'edificio rappresentativo della tipologia C02 MUR1

La tipologia in esame presenta circa due o tre piani al massimo, è stata costruita tra gli anni 1945 e gli anni 1960 ed è caratterizzata da un prevalente uso abitativo. La muratura da cui è composta è regolare, il solaio è stato costruito in legno con mezzane e non sono presenti volte. La copertura è sempre in legno e con falde inclinate, e le scale a soletta rampante. Gli edifici in esame sono caratterizzate da parecchie aperture in facciata (circa 30-50%), elemento di vulnerabilità. Oltre a questo si possono sommare ulteriori fattori di vulnerabilità: riduzione localizzata della sezione muraria, a causa della presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie; discontinuità localizzate (ad esempio chiusura di vecchie aperture, come nel caso dell'edificio rappresentativo della tipologia); aperture in prossimità degli angoli del fabbricato e infine elevata percentuale di vani al piano terra. Queste caratteristiche possono essere riscontrate osservando la figura dell'edificio rappresentativo del comparto *C02 MUR1*. Gli elementi non strutturali vulnerabili sono invece i cornicioni, i comignoli, i balconi. Le fondazioni della tipologia si distinguono in fondazioni in pietrame profonde oppure superficiali, mentre quelle dell'edificio rappresentativo sono superficiali continue in blocchi squadrate.



Fig. 3.28 Edificio rappresentativo della tipologia C02 MUR1

La terza tipologia del comparto numero 2 *C02 MUR2* corrisponde a un edificio caratterizzato da una struttura mista in cemento armato e muratura. La tipologia è isolata in aggregato e presenta come uso prevalente quello abitativo. La struttura è appunto mista tra muratura e cemento armato, la copertura in cemento armato e il solaio in legno con mezzane, non sono presenti volte. L'edificio è stato costruito tra gli anni 50 e 60, è irregolare in pianta ma regolare in elevazione, mentre la percentuale di aperture in facciata

nella norma. Inoltre, il piano terra è dotato di una serra bioclimatica. L'edificio rappresentativo della tipologia fa parte di tutti gli edifici del tipo *C02 MUR2*. La fondazione è caratterizzata da plinti isolati con travi di collegamento o travi rovesce.



Fig. 3.29 Edificio rappresentativo della tipologia C02 MUR2

In *Fig.3.30* sono rappresentate delle fotografie storiche di edifici appartenenti al comparto 2, costruite in muratura. Si tratta di uno dei primi interventi di Giancarlo De Carlo, architetto milanese, negli anni '50.

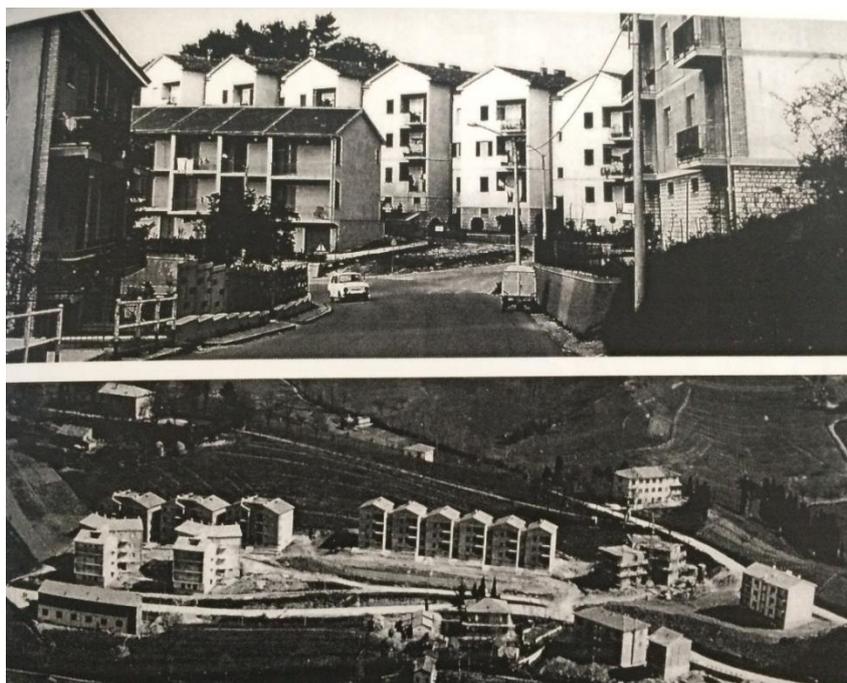


Fig. 3.30 Fotografia storica degli edifici presenti nel secondo comparto

Elio Vittorini fornì il nome dell'architetto al rettore dell'Università di Urbino Carlo Bo, i due ebbero un'immediata intesa intellettuale che sfociò nell'affidamento di vari incarichi: la ristrutturazione dell'Università nel 1952 e la realizzazione di case per i dipendenti (corrispondenti alla tipologia sopra descritta, C02 MUR2). Per costruire gli edifici si è in primo luogo definito lo spazio urbano, accertandosi che fosse coerente con l'essenza storica della città, e mantenendo una relazione con il territorio adeguata.

I fabbricati C02 MUR2 sono sei cellule uguali a schiera, che seguono le curve di livello disegnando un arco. Ogni edificio comprende due alloggi in duplex: piano terra con zona giorno e piano primo con camere da letto. La particolarità degli edifici sta nel fatto che non sembrano gli uni uguali agli altri, a causa del fatto che si appoggiano su curve di livello, anche le coperture seguono il loro andamento. Al progetto collaborarono anche l'arch. Mariani e il geom. Lucio Fraternali Seraghiti [16].

In *Fig.3.31* una foto storica degli edifici della tipologia C02 MUR2 in seguito alla loro costruzione negli anni '50, mentre in *Fig.3.32* alcune fotografie dei particolari del fabbricato.



Fig. 3.31 Fotografia storica degli edifici della tipologia C02 MUR2



Fig. 3.32 Particolari degli edifici della tipologia C02 MUR2

3.3.3 Comparto 3 – Zona di espansione

L'ultimo comparto analizzato corrisponde agli edifici realizzati in seguito alla forte espansione degli anni '70 a Urbino. Si tratta generalmente di costruzioni in cemento armato non oggetto di ristrutturazioni, in quanto le parti strutturali sono ancora correttamente funzionanti. Gli unici interventi effettuati sui fabbricati sono di manutenzione, atti ad evitare degrado di intonaco o tinteggiatura. Gli edifici analizzati all'interno del comparto C03 sono quattro, tre in cemento armato e uno in struttura mista cemento armato e legno.

La prima tipologia analizzata è la *C03 CAR1*, in cui per CAR si intende cemento armato. Questa può essere isolata oppure in aggregato in adiacenza o connessione, in quanto molto utilizzata nella parte periferica della città. Gli edifici sono fortemente irregolari, sia in elevazione sia in pianta e si distinguono dalle altre tipologie in quanto non regolari e sviluppati seguendo l'andamento della collina. I fabbricati vanno dai 5 ai 6 piani e presentano un'altezza media di interpiano compresa tra 2,5m e 3,5 m. Sono stati costruiti all'inizio degli anni 90 e presentano un uso prevalentemente abitativo, anche se ai piani terra solitamente si trovano spazi a fine commerciale.

In *Fig. 3.33* sono rappresentate la pianta e la sezione di un edificio tipo appartenente alla tipologia.

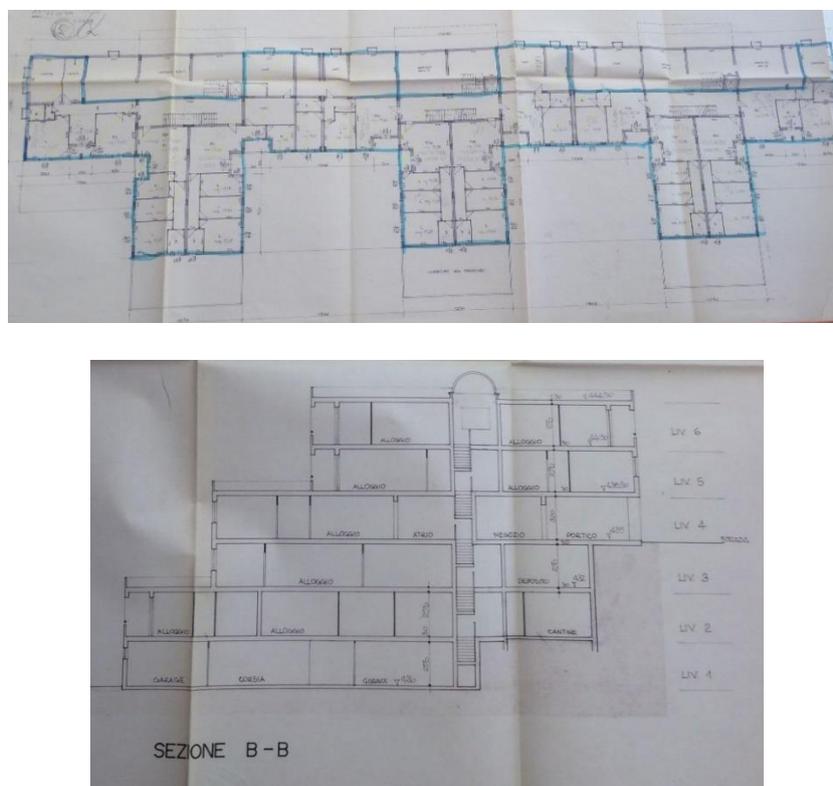


Fig. 3.33 Pianta e sezione edificio tipo C03 CAR1

L'edificio rappresentativo della tipologia si trova nella periferia della città, si tratta di un edificio condominiale, sviluppato seguendo l'andamento della collina ed estremamente irregolare. Non presenta bow windows ma una piccolissima percentuale di finestre a nastro e di aperture in prossimità degli angoli, elementi di vulnerabilità. I telai non sono sviluppati in un'unica direzione e le tamponature sono correttamente inserite nel telaio. Il fabbricato è composto al piano terra da pilastri di dimensione compresa tra i 25 e 45 cm, e da aperture notevolmente sviluppate, caratteristica pericolosa in quanto potrebbe verificarsi il meccanismo di piano soffice.

La copertura è composta da un terrazzo non praticabile (solo in caso di manutenzione), mentre le scale a soletta rampante, infine le fondazioni sono profonde, sono stati progettati pali in quanto il terreno su cui poggiano è notevolmente argilloso.

L'edificio si presenta perciò irregolare in pianta e in elevazione, vi sono finestre a nastro e il rischio di piano soffice ai piani intermedi, l'intonaco e la tinteggiatura sono visibilmente in degrado, come si può notare dalla *Fig.3.34*.



Fig. 3.34 Edificio tipo C03 CAR1

La seconda tipologia *C02 CAR2* appartenente al comparto 3 consiste in costruzioni in cemento armato in aggregato oppure isolate, che presentano un unico seminterrato e non si sviluppano seguendo l'andamento della collina. I fabbricati vanno dai 5 ai 6 piani e presentano un'altezza d'interpiano regolare, compresa tra i 2,5 m e i 3,5 m. Sono caratterizzati da una copertura in cemento armato a falde inclinate, da aperture in facciata con percentuale significativa (fino al 50%), mediamente regolari in pianta e regolari in elevazione, le scale sono a soletta rampante. Le fondazioni della tipologia sono profonde o continue superficiali. Generalmente compilando la scheda di primo livello si è notato come gli edifici non presentino dei forti sintomi di degrado, per lo meno strutturale.

L'edificio di riferimento è isolato in aggregato, si presenta in cemento armato (struttura, copertura, scale) e mediamente irregolare in pianta ma regolare in elevazione. Gli elementi che conferiscono vulnerabilità all'edificio sono i tramezzi non strutturali, i comignoli, i balconi in muratura. La maglia strutturale è per lo più regolare, e i giunti di separazione sono a norma, non sono presenti elementi tozzi e le tamponature al piano terra sono regolari. Perciò, analizzando nel dettaglio tramite le schede di secondo livello un edificio rappresentativo, si è notato come non siano presenti eccessivi elementi che portano a una forte vulnerabilità della tipologia.

In *Fig.3.35* è mostrata la pianta mediamente regolare, ma che segue la curva di livello, dell'edificio rappresentativo della tipologia *C03 CAR2*.

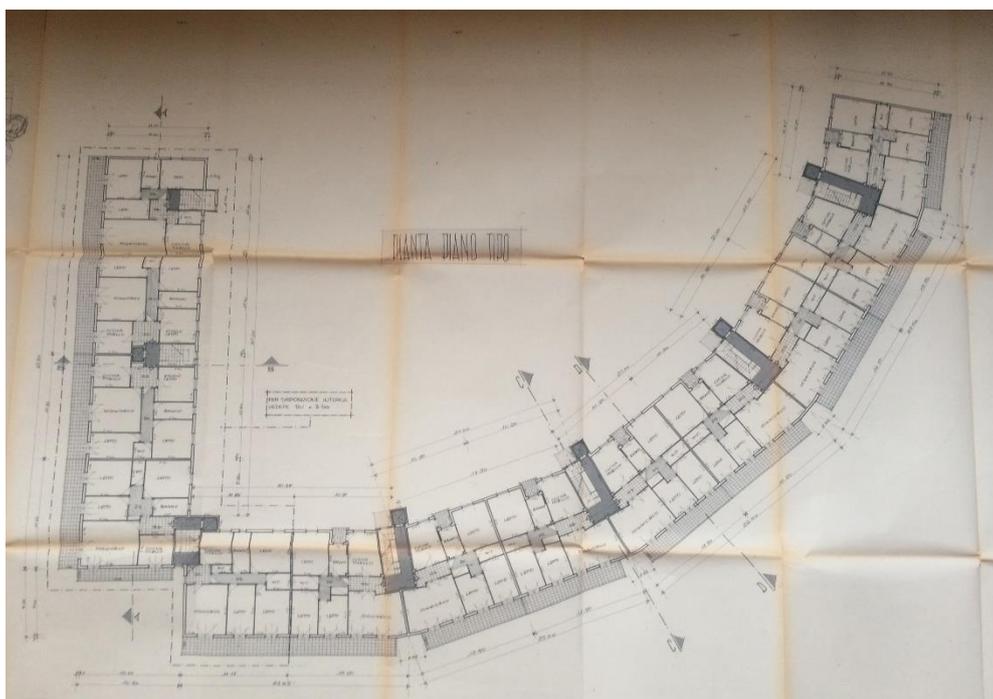


Fig. 3.35 Pianta dell'edificio tipo C03 CAR2



Fig. 3.36 Edificio rappresentativo della tipologia C03 CAR2

La terza tipologia esaminata *C03 CAR3* comprende edifici costruiti nella periferia della città, su territorio prettamente collinare, quindi tenendo conto della pendenza del terreno. Si tratta di case a schiera prettamente regolari sia in pianta sia in altezza. Presentano dai 3 ai 4 piani e altezza di interpiano regolare, sono inoltre costruzioni ad uso abitativo. La maggior parte di questa tipologia è in adiacenza ma con le strutture staticamente indipendenti. La disposizione delle tamponature è inoltre regolare, e l'interasse della maglia strutturale compreso tra i 4,5 e 6 m.

Si è analizzata tramite una scheda di secondo livello un edificio rappresentativo situato a 'Mazzaferro', quartiere residenziale esterno alle mura della città. Presenta le medesime caratteristiche generiche descritte nella scheda di primo livello, gli edifici sono strettamente regolari sia in pianta sia in elevazione, così come le aperture. Gli elementi non strutturali vulnerabili sono però i tramezzi, i comignoli e i balconi. La copertura si presta come un terrazzo non praticabile (solo in caso di manutenzione) e le fondazioni sono continue. Non sono presenti solai SAP o assimilabili, ma i classici solai in latero cemento.

Non è stato possibile poter segnare il tipo di armatura longitudinale presente, per mancanza di informazioni, perciò le caselle non sono state compilate.



Fig. 3.37 Edificio rappresentativo della tipologia C03 CAR3

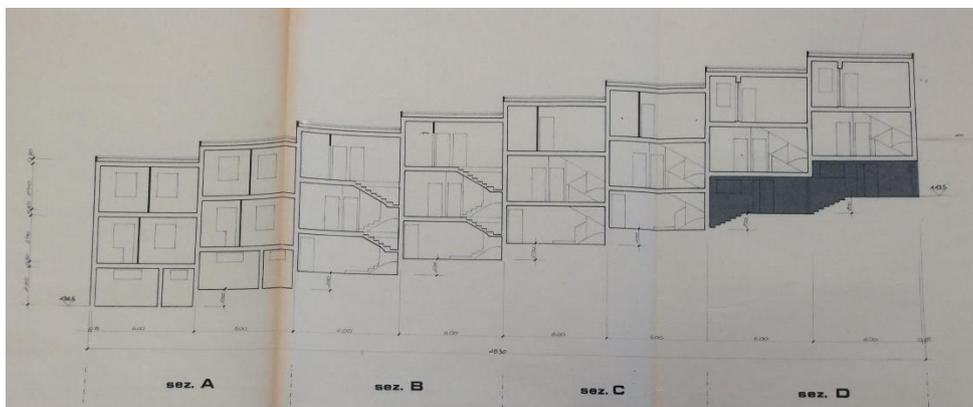
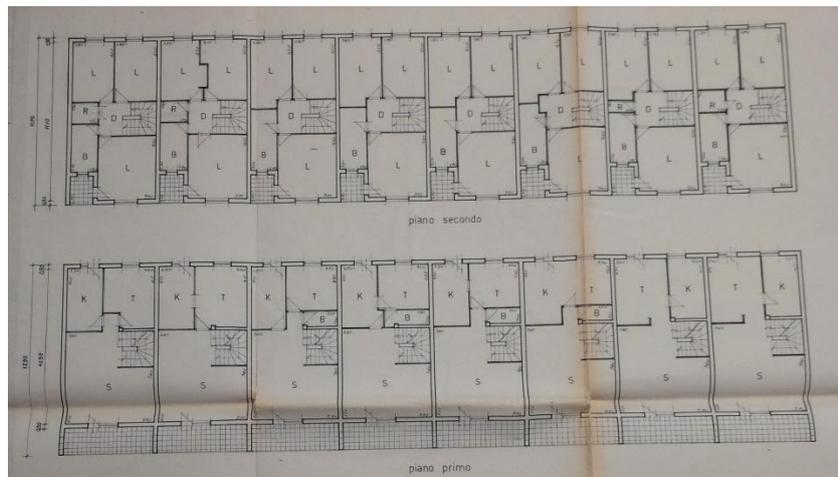


Fig. 3.38 Pianta e sezione dell'edificio rappresentativo della tipologia C03 CAR3

L'ultima tipologia rappresentativa del comparto 3 è la *C03 CAR4*, si tratta di una struttura mista in cemento armato e legno. E' prevalentemente costruita in legno mentre il piano seminterrato risulta essere in cemento armato. E' una tipologia isolata, con scarsa percentuale di aperture e copertura in legno a falda. L'edificio rappresentativo fa proprio parte dell'intera tipologia, e mostra come sia regolare in altezza come in pianta.

I fabbricati sono stati realizzati tra gli anni '90 e gli anni 2000, sono in ottime condizioni. Presentano tre piani e un'altezza di interpiano regolare (compresa tra 2,5 m e 3,5 m). E' caratterizzato da un prevalente uso abitativo. L'edificio non mostra grandi segni di vulnerabilità, eccetto gli elementi non strutturali vulnerabili: tramezzi, comignoli e balconi. Le fondazioni sono superficiali, la tamponatura ben inserita rispetto al telaio e non sono presenti elementi tozzi quali: finestre a nastro, travi a ginocchio, piani sfalsati.

In *Fig. 3.39* l'edificio rappresentativo della tipologia *C03 CAR4*.



Fig. 3.39 Edificio rappresentativo della tipologia *C03 CAR4*

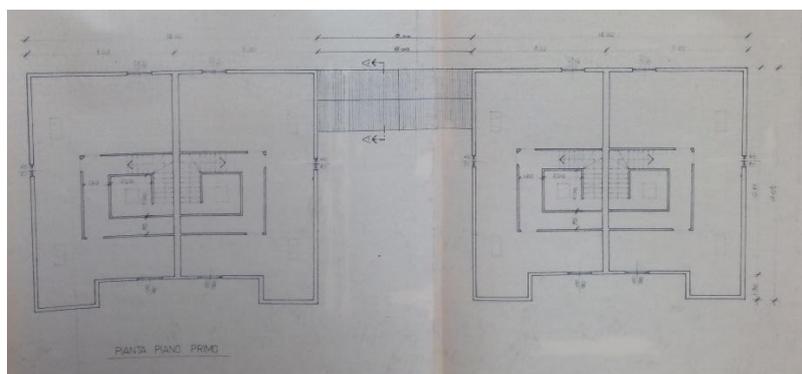


Fig. 3.40 Pianta dell'edificio rappresentativo della tipologia *C03 CAR4*

CAPITOLO 4. ANTICHI PALAZZI DI CIVILE ABITAZIONE ORA APERTI AL PUBBLICO

Molti edifici costruiti nel periodo antecedente al 1500 non possono essere classificati tra le tipologie della scheda CARTIS, in quanto secondo il manuale delle schede di primo e di secondo livello, non possono essere descritte le tipologie riconducibili a beni monumentali (edifici religiosi, palazzi storici).

Per questo motivo si è deciso di aggiungere un'ulteriore tipologia fittizia riferita ai palazzi storici, in cui si è andato poi a descrivere, tramite la scheda CARTIS di secondo livello, un palazzo rappresentativo. La tipologia sarebbe fondamentale per una valutazione completa della vulnerabilità, soprattutto per una città come Urbino, in quanto dotata di numerosissimi edifici storici ora aperti al pubblico. Questi ultimi erano appartenenti alle famiglie nobiliari della città, come i Bonaventura, gli Odasi, gli Albani e soprattutto i Montefeltro, che occupavano l'imponente palazzo Ducale, ora museo storico di Urbino. Oltre a questi palazzi così importanti, nella città è situata anche la casa natale di Raffaello Sanzio, in cui abitò per i primi 10 anni di vita assieme al padre Giovanni Santi, bene storico a cui Urbino è molto affezionata.

Molto spesso gli attuali edifici pubblici erano in antichità palazzi storici di uso civile, soprattutto secondo la cultura del centro Italia. Per questo motivo come già anticipato, si è deciso di compilare un'ulteriore volta la scheda CARTIS di primo livello, aggiungendo la quarta tipologia (fittizia) di edificio in muratura al comparto C01 – centro storico. Gli edifici pubblici in esame sono infatti stati costruiti in epoca antecedente al 1500 e sono stati realizzati in muratura.

In primo luogo si è compilata la scheda di primo livello, sono stati valutati gli elementi di vulnerabilità che accomunano tutti gli edifici in esame, quali: la forte irregolarità in pianta e in elevazione (le tecniche costruttive dell'epoca non erano affatto precise), i manti di copertura, i tramezzi non strutturali, la presenza di nicchie e soprattutto variazione continua dello spessore dei muri. Gli edifici sono stati oggetto di ristrutturazione quasi per il 90% dei casi, in quanto beni storici che necessitano di continui interventi di manutenzione e recupero, soprattutto dal punto di vista di miglioramento sismico.

In seguito si è proceduto con la compilazione della scheda di secondo livello di un edificio rappresentativo della tipologia *C01 MUR4*: Palazzo Bonaventura – Odasi. Il palazzo si trova nel cuore del centro storico di Urbino ed è stata sede delle due famiglie di cui porta il nome nel periodo rinascimentale; ora è un edificio aperto al pubblico, chiamato 'Casa della Poesia'.

4.1 Palazzo Bonaventura-Odasi

Palazzo Bonaventura – Odasi era uno dei palazzi storici più imponenti della città di Urbino sia per la sua estensione sia per la sua importanza, e fu costruito nel 400. Col passare del tempo a partire dal XVI secolo subì diversi rinnovamenti strutturali e decorativi, soprattutto dopo che si verificò l'unità d'Italia, mutilazioni e abbandoni. Il soffitto ligneo dipinto a cassettoni nel portico è rappresentato in uno dei quadri di Piero della Francesca: 'La flagellazione', si dice che il pittore prese ispirazione proprio da Palazzo Odasi durante la realizzazione dell'opera. Il palazzo era posseduto in primo luogo dai Bonaventura, che in seguito al 1446 si trasferirono nell'antica dimora dei Montefeltro, succedendo l'edificio agli Odasi. Il palazzo fu restaurato all'inizio degli anni 2000, in cui vennero recuperati diversi ambienti e rinforzato strutturalmente, a causa dell'imponente sisma avvenuto nel 1997. In seguito agli interventi, all'interno di Palazzo Bonaventura – Odasi fu inizialmente collocato il *Museo della città* sostituito poi nel 2015 dalla *Casa della Poesia*. [17].

L'edificio potrebbe fungere da perno e avere un ruolo di attrazione per eventi culturali di alto spessore, poiché si tratta di un luogo di incontro tra il centro della storia di Urbino rappresentato dal Palazzo Ducale e dal Duomo. Il progetto di ristrutturazione degli anni 2000 prevedeva un recupero funzionale finalizzato alla realizzazione di un nuovo spazio che permettesse un percorso per mostrare idee, forme, intenzioni. L'edificio è composto da quattro corpi di fabbrica costruiti in tempi diversi, analizzando la storia la famiglia Arcangeli Bonaventura completò l'acquisto dei 4 fabbricati e li riunì attorno a un nuovo corpo di fabbrica corrispondente da un cortile colonnato al piano seminterrato e da una loggia al piano terra.

Nell'edificio sono stati eseguiti diversi interventi che hanno compromesso l'assetto strutturale e architettonico originario del fabbricato, ragion per cui è stato fondamentale la più recente opera di ristrutturazione. Il palazzo in primo luogo (ovvero prima della ristrutturazione negli anni 2000) era composto da un piano interrato a quota -4,74 m a livello dell'antica piazzetta di San Sebastiano. Questo era costituito da due spazi separati accessibili unicamente tramite una piola restaurata ma con pendenze inaccessibili. I due locali fungevano da cantine ma prima dell'ultima ristrutturazione risultavano inutilizzabili ed insalubri. Il piano terra prima che il restauro fosse completato era adibito a scuola materna, e il piano primo conteneva forti elementi di degrado, così come il tetto, in uno stato di disfacimento per l'80% della superficie. Per quanto riguarda la copertura, l'orditura primaria costituita da capriate, l'orditura secondaria costituita da travi in legno e infine i travetti risultavano avere una luca eccessiva tanto da giustificare la sostituzione completa.

Unicamente una parte di copertura ha mantenuto un coerente grado di conservazione, ragion per cui si è deciso di effettuare solo in quella parte il restauro e consolidamento statico. Il progetto svolto negli anni 2000 proponeva il completamento dell'edificio in ogni sua parte, risanando le zone degradate e la funzionalità pubblica tramite le normative vigenti in quel periodo. Stato di progetto prevedeva:

- Interventi di restauro sulle facciate non ancora oggetto di ristrutturazione, consistenti in operazioni di ripresa muraria tramite la tecnica cuci scuci;
- Interventi nei locali interrati, tramite l'inserimento di impianti tecnici civili che rendevano gli ambienti adatti a funzioni espositive, con in seguito il restauro del muro romano presente;
- Interventi al piano seminterrato, tramite: l'asporto del terreno nei locali posti sotto il portico d'ingresso per poter posizionare il nuovo pavimento con relativo vespaio; il rifacimento negli stessi locali a cuci e scuci di tratti di muratura e di volte; la demolizione di intonaci e rivestimenti; la costruzione di un servizio igienico per disabili.
- Interventi al piano primo e copertura: costruzione dei servizi igienici e rifacimento per l'80% delle strutture [18].

4.1.1 Interventi sul sistema fondale

Il terreno su cui è ubicato l'edificio è composto da tre strati portanti aventi caratteristiche differenti tra loro. La relazione geologica indica come lo strato più profondo, definito orizzonte stratigrafico C, sia costituito da marne grigio-azzurre con stratificazione sub-verticale. Lo strato intermedio invece, in mezzeria tra la parte più profonda e lo strato di terreno su cui poggia l'edificio è chiamato anche orizzonte stratigrafico B, ed è costituito da argille limose color grigio mediamente plastiche, mentre l'orizzonte A da argille color nocciola debolmente plastiche, sono state inoltre individuate le tracce di alcuni pozzi chiusi da tempo e altri ancora attivi, il tutto confermato anche dai 5 sondaggi effettuati.

Il primo nucleo risale alla seconda metà del 400, dato che non sono mai avvenuti nell'edificio fenomeni di cedimento delle fondazioni, osservando la mancanza di tracce di lesioni di tale tipo, si ritiene che le argille dell'orizzonte A siano notevolmente sovraconsolidate in relazione ai carichi dell'edificio stesso.

Le fondazioni progettate all'epoca consistevano in setti di muratura di laterizio immersi in trincea ne terreno, solitamente lo spessore dei setti di fondazione è uguale allo spessore del setto più basso. I setti seguono l'andamento della muratura andando a generare un vero e

proprio reticolo. A causa del fatto che l'edificio è stato costruito su un terreno in pendenza, i setti non si trovano posizionati alla medesima quota gli uni con altri: certi sono notevolmente approfonditi (fino a 4 m), altri poco (non meno di 1,50 m). I primi sono infatti chiamati setti a valle, i secondi setti a monte.

Gli unici interventi previsti e realizzati prevedevano un miglioramento dell'ancoraggio dei solai più bassi ai setti portanti, tramite cordolature in cemento armato, e un miglioramento della capacità portante dei setti di fondazione più superficiale, tramite iniezioni con malte a base di latte di cemento additivate con resine epossidiche (il tutto è visibile nei particolari rappresentati in Fig.4.1 e Fig.4.2).

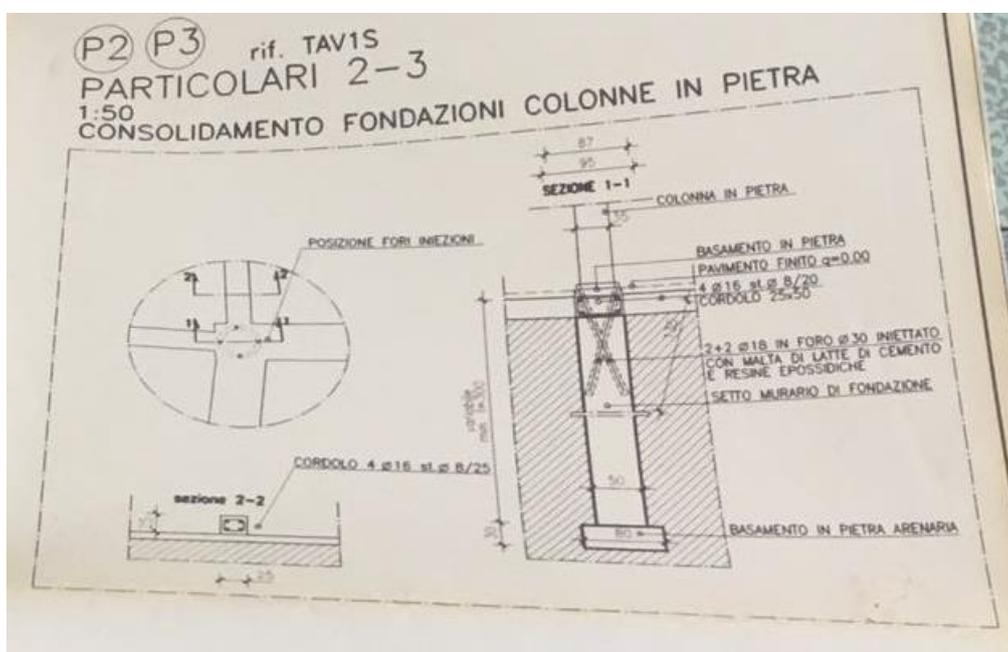


Fig. 4.1 Particolare in cui si mostra il consolidamento delle fondazioni

Per verificare che i carichi verticali trasmessi siano sopportabili dalle fondazioni i tecnici hanno utilizzato il metodo delle tensioni ammissibili, in quanto non ancora in vigore l'obbligo di utilizzo del metodo agli stati limite ultimi [19].

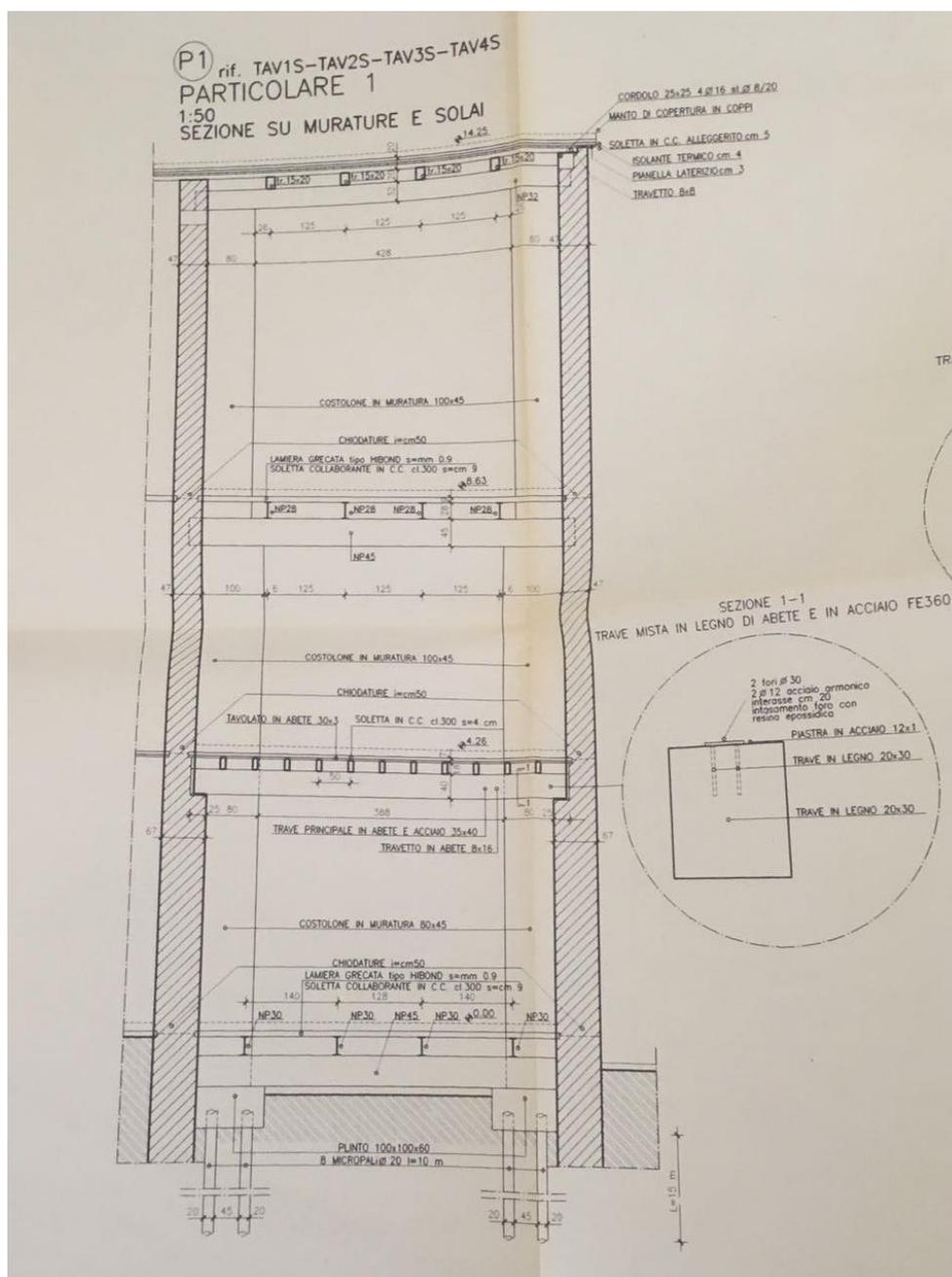


Fig. 4.2 Particolare in cui si mostra la sezione sulle murature e i solai

4.1.2 Interventi di consolidamento statico

L'edificio è costituito da murature in laterizio pieno con malte di calce idrata, le orditure dei solai sono invece di vario ordine, ma di legno di abete. Il piano primo è stato ristrutturato negli anni 2000 e le travi in legno con luce eccessivamente ampia sostituite da profili in acciaio. Le colonne sono invece in pietra e laterizio.

Il progetto effettuato dall'ufficio tecnico comunale consiste in vari interventi di consolidamento che riguardano:

- Consolidamento delle volte tramite inserimento di tiranti in entrambe le direzioni di orditura, in acciaio Fe360 e muniti di tenditore;
- Ricostruzione dei solai in legno con tavolato;
- Sostituzione delle travi in legno mediante travi in acciaio portanti e lamiera grecata con soletta collaborante;
- Eliminazione dei costoloni poggiati in falso e sostenenti i solai del piano terra, svuotamento del materiale, e inserimento di tondini di acciaio armonico di diametro 12 mm, all'interno delle volte in laterizio situate al primo piano seminterrato come mostrato in *Fig.4.4*;



Fig. 4.4 Inserimento tondini in acciaio nelle strutture orizzontali del piano seminterrato

- Demolizione e ricostruzione della copertura in corrispondenza del cortile interno, mentre sarà mantenuta in corrispondenza del corpo di fabbrica C ed E, in cui nel tetto di corpo di fabbrica C sono state mantenute le capriate principali, previa realizzazione di nuove piastre in acciaio per i collegamenti delle aste, nel corpo di fabbrica E è stato realizzato un nuovo rompitratta costituito da una trave in acciaio di tipo NP 32, la quale poggia sui nuovi costoloni in muratura;
- La copertura in corrispondenza del corpo di fabbrica A non è stato invece oggetto di intervento;
- I solai e i campi di volta contengono ora un sistema di bielle costituite da profili metallici, le quali si salderanno ad anello perimetrale costituito da putrelle tipo HEB 12, e si appoggiano su setti murari. Il tutto per permettere un collegamento continuo tra le strutture verticali e orizzontali.

- Il piano primo prevede ora la presenta di travi portanti in acciaio NP 26;
- Rifacimento della pavimentazione come mostrato in *Fig. 4.5* [20].

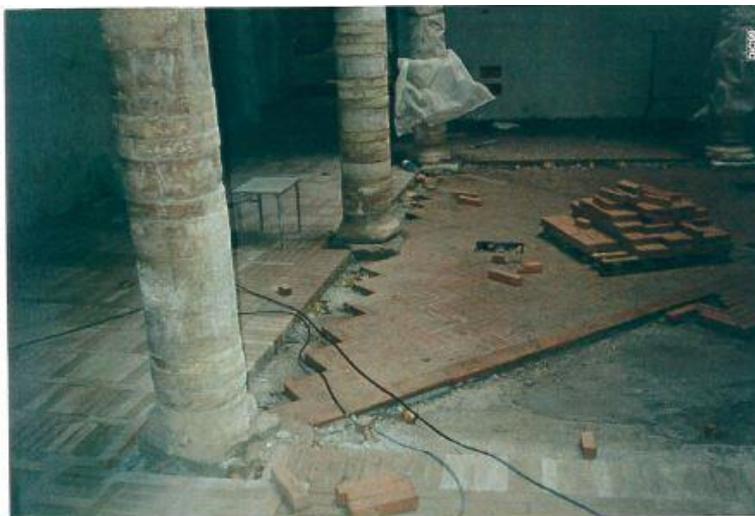


Fig. 4.5 Rifacimento della pavimentazione del cortile

In seguito sono riportate delle fotografie che testimoniano gli interventi effettuati durante gli interventi di ristrutturazione.

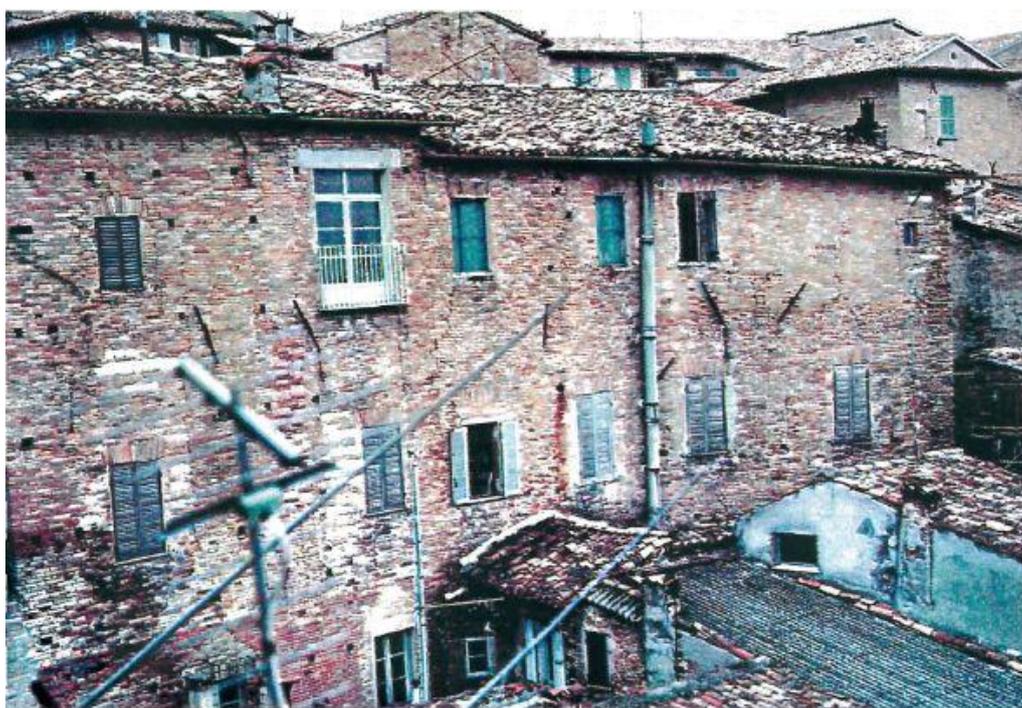


Fig. 4.6 Palazzo Bonaventura-Odasi prima della ristrutturazione

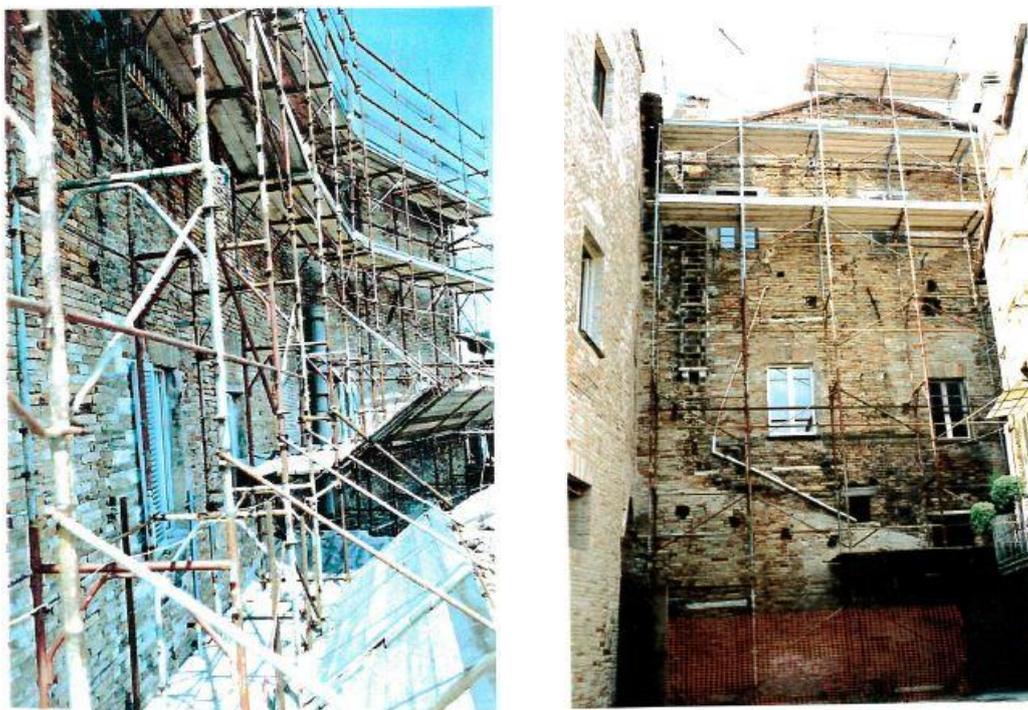


Fig. 4.7 Fotografie che riprendono l'accantieramento durante l'intervento



Fig. 4.8 Consolidamento delle volte



Fig. 4.9 Rinforzo strutturale nelle murature e iniezioni di malta di latte, di cemento e acqua additivata con resine epossidiche

4.1.3 Interventi prevenzione incendio

Per la classificazione di reazione al fuoco dei materiali si è utilizzata all'epoca il DM 26/06/1984, e si è notato come gli elementi di finitura presentavano le caratteristiche di reazione al fuoco riportate in seguito:

- Rivestimenti dei pavimenti di classe non maggiore a 2,
- Materiali che tendono a prendere fuoco su ambedue i lati di classe 1,
- Mobili imbottiti di classe 1 IM.

Solo due piani dell'edificio sono aperti al pubblico e sono dotati ognuno del proprio ingresso e uscita indipendenti, rispettando una larghezza non minore di 90 cm. Sono presenti percorsi d'esodo privi di ostacoli ed opportunamente segnalati tramite cartelli situati ogni 30 metri, seguendo dunque intervalli regolari. Inoltre, sui cartelli sono segnalate le istruzioni sui comportamenti in caso di pericolo. Il collegamento verticale è invece garantito da una scala di tipo protetto, costituita da porte di resistenza al fuoco REI 120. E' stato definito il massimo affollamento consentito, in relazione alla capacità di deflusso del

sistema di vie d'esodo, pari a 60 persone a modulo, mentre il conteggio delle vie di uscita è stato effettuato tramite la somma della larghezza di tutte le porte che portano a un luogo sicuro. Le aperture non devono avere larghezza minore di 90 cm. In più, per il piano interrato e seminterrato sono stati effettuati i seguenti studi, mostrati in *Tab. 4.1* e *Tab. 4.2*.

Tab.4.1 Piano interrato informazioni in caso di incendio

Numero totale di uscite	2	n . / ro
Larghezza delle uscite	1, 60 - 1, 20	ml.
Numero totale di moduli	4	modo
Capacità di deflusso	60	pers./mod.
Capacità totale di evacuazione	240	persone
Capienza totale	240	persone

Tab.4.2 Piano seminterrato informazioni in caso di incendio

Numero totale di uscite	2	n . / ro
Larghezza delle uscite	220 - 110	ml.
Numero totale di moduli	4	modo
Capacità di deflusso	60	pers./mod.
Capacità totale di evacuazione	240	persone
Capienza totale	240	persone

Come mezzi antincendio sono stati forniti estintori portatili, ogni 150 m² di superficie di pavimento, idranti e attacco per il collegamento con le autopompe VVF, tramite un attacco UNI 70 [21].

Le verifiche condotte su Palazzo Bonaventura-Odasi negli anni 2000 sono state effettuate tramite il metodo delle tensioni ammissibili. Si è deciso di utilizzare l'edificio come caso studio affinché potesse essere possibile svolgere le medesime verifiche strutturali sulla struttura attualmente esistente e ristrutturata. Il tutto però tramite il metodo degli SLU e l'utilizzo delle NTC 2008, in quanto il programma di calcolo applicato non risulta ancora completamente aggiornato alle NTC 2018.



Fig. 4.10 Palazzo Bonaventura-Odasi allo stato attuale

**CAPITOLO 5. ANALISI STATICA
LINEARE, DINAMICA LINEARE E
VERIFICA ALL'INCENDIO DI
PALAZZO ODASI**

In primo luogo sono state compilate le schede CARTIS, per poter individuare le varie tipologie edilizie presenti nel contesto urbano della città; finora però non è stato possibile valutare la vulnerabilità degli edifici in modo concreto. Un primo approccio è stato sicuramente fornito dalle schede, infatti tramite i rilievi effettuati è stato possibile contrassegnare i vari elementi strutturali e non strutturali che potevano provocare una forte vulnerabilità degli edifici in esame. Allo stesso tempo è stato però essenziale effettuare verifiche statiche e dinamiche, così da ottenere i dati che mostravano se il fabbricato poteva essere resistente al sisma o meno, in primo luogo, e all'incendio in secondo luogo.

Dunque, Palazzo Bonaventura-Odasi è stato scelto come caso studio. Il palazzo fa parte della categoria fittizia aggiunta al comparto 1, relativa ai palazzi storici ora aperti al pubblico. E' stata presa questa decisione in quanto le verifiche effettuate durante l'intervento di ristrutturazione, nei primi anni 2000, sono state svolte tramite l'ausilio del metodo delle tensioni ammissibili. Quest'ultimo è stato applicato a partire dal R.D. 10/01/1907, mentre in seguito alla legge 1089/71 e al D.M. 30/05/72 è stato possibile effettuare la verifica anche agli stati limite, anche se non in zona sismica, consentito successivamente tramite il DM 16/01/96. Infine a partire dall'ordinanza 3274 del 20/03/2003 è diventato obbligatorio l'utilizzo degli stati limite ultimi, ribadito in seguito grazie all'uscita delle NTC 2008. Per questo motivo risulta fondamentale effettuare nuovamente la verifica strutturale del palazzo, così da accertarsi delle proprie condizioni statiche e dinamiche.

Si è utilizzato *DOLMEN*, software di calcolo strutturale, geotecnico e di resistenza al fuoco per verificare le condizioni di Palazzo Odasi. E' stato fornito dalla *CDM DOLMEN e omnia IS* di Torino, situata in via Drovetti 9/F, che consentendo di utilizzare il programma in versione completa ha permesso di modellare la struttura per poi effettuare le analisi sismiche e di resistenza al fuoco. Per poter modellare l'edificio è stato fondamentale ottenere gli elaborati esecutivi e i particolari costruttivi progettuali forniti gentilmente dai tecnici del comune di Urbino, tra cui l'Arch. Gostoli, a capo dell'intervento di ristrutturazione del palazzo nei primi anni 2000.

Il programma risulta completamente aggiornato alle NTC 2018, per questo motivo sono state effettuate le verifiche seguendo le NTC vigenti.

5.1 Modellazione della struttura

E' stato possibile ricondursi alla modellazione della struttura di Palazzo Bonaventura-Odasi grazie alla concessione da parte dei tecnici del comune di Urbino delle piante dell'edificio. Grazie alle piante del seminterrato e dell'interrato, e dei particolari costruttivi è stato concesso osservare le disposizioni delle travate principali sia in legno sia in acciaio (aggiunte in seguito alla ristrutturazione) dei vari piani. Grazie a diversi sopralluoghi all'interno dell'edificio è stato possibile crearsi una visione globale e chiara della costruzione, piuttosto complessa ed estremamente irregolare. E' stato già detto in precedenza che il fabbricato è composto dall'unione di 4 complessi distinti, uniti tramite diversi interventi sul cortile interno, facilmente individuabili dalla pianta del piano terra mostrato in Fig. 5.1.

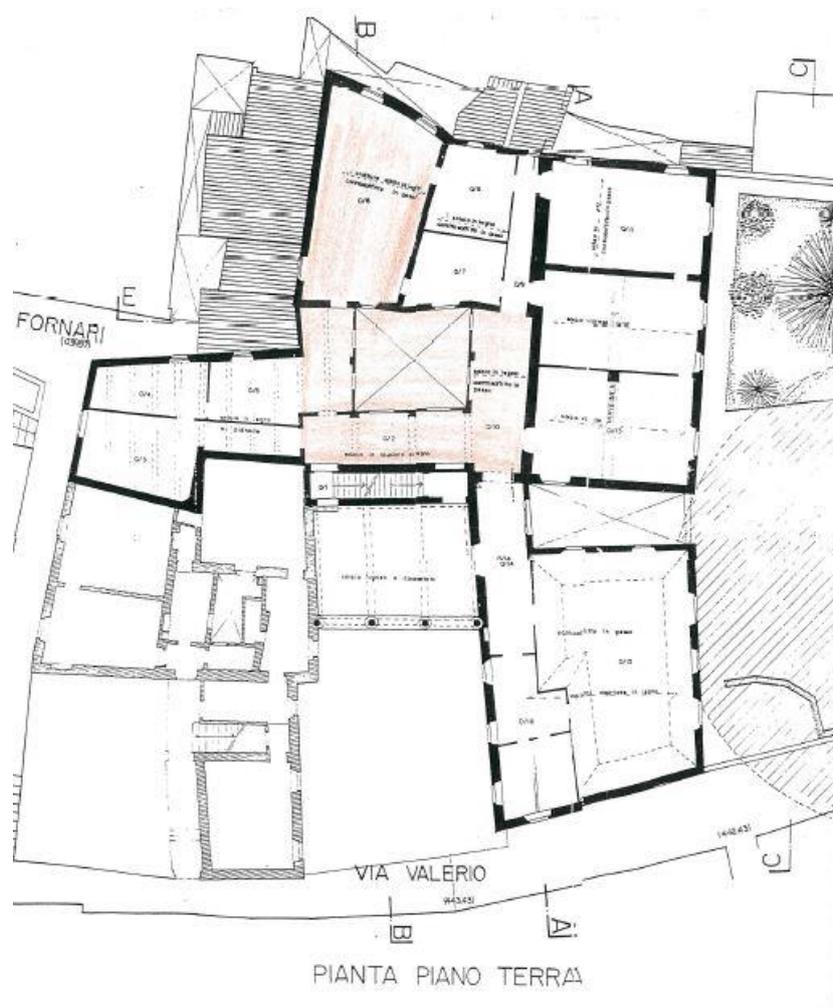


Fig. 5.1 Pianta piano terra di Palazzo Bonaventura-Odasi

Il caso studio è un edificio composto da 4 piani in totale: interrato a quota -474 cm, seminterrato, piano terra e piano primo. E' un fabbricato costruito in muratura ed estremamente irregolare, espressione delle costruzioni dell'epoca, infatti è stato costruito nel 1400. I maschi murari presentano una variazione continua di spessore, passando da 15 cm a 80 cm, ovviamente nella modellazione non sono state fatte alcune semplificazioni ed è stato possibile ricondursi alla struttura effettiva in termini di muratura, tenendo conto delle aperture mostrate negli esecutivi forniti.

In primo luogo è stata importata la pianta dal CAD in dxf, ed è stata creata una scheda di materiale in cui sono mostrate le proprietà del materiale muratura, nel caso in esame si tratta di muratura di mattoni pieni. In seguito si è compilata la scheda di resistenze. In *Tab.5.1* e *Tab.5.2* sono mostrati i valori inseriti.

Tab.5.1 Proprietà del materiale muratura

E [daN/cm ²]	ν	G [daN/cm ²]	g [daN/m ³]
18000	0,2	3000	1800

In *Tab.5.1* sono indicati i valori di: modulo di elasticità normale E, coefficiente di Poisson ν , Modulo di elasticità tangenziale G, peso specifico γ .

Tab.5.2 Scheda di resistenze della muratura

γ_M	f_k [daN/cm ²]	f_{vk0} [daN/cm ²]	f_{h0} [daN/cm ²]
2,5	60	2	30

Una volta inseriti i dati base, si è partiti con la modellazione degli interpiani, ognuno avente l'altezza definita all'interno degli esecutivi di progetto. Per procedere è stato fondamentale inserire lo spessore del maschio murario, le caratteristiche meccaniche a cui si riferiva, assieme alle caratteristiche di resistenza: nel caso in esame Muratura esistente. Infatti l'analisi viene effettuata considerando l'edificio allo stato attuale, perciò non si tratta di muratura in fase di costruzione ma esistente, avente perciò dei valori di resistenza differenti. In seguito sono state modellate le aperture, per ogni maschio murario, facendosi aiutare dalla pianta riportata sul software. E' stata utilizzata la funzione Murature – Aperture – Inserisci aperture.

In *Fig.5.2* è riportata la scheda di un interpiano di parete utilizzato in modellazione, si nota come siano state inserite le aperture in fase successiva alla creazione del maschio murario.

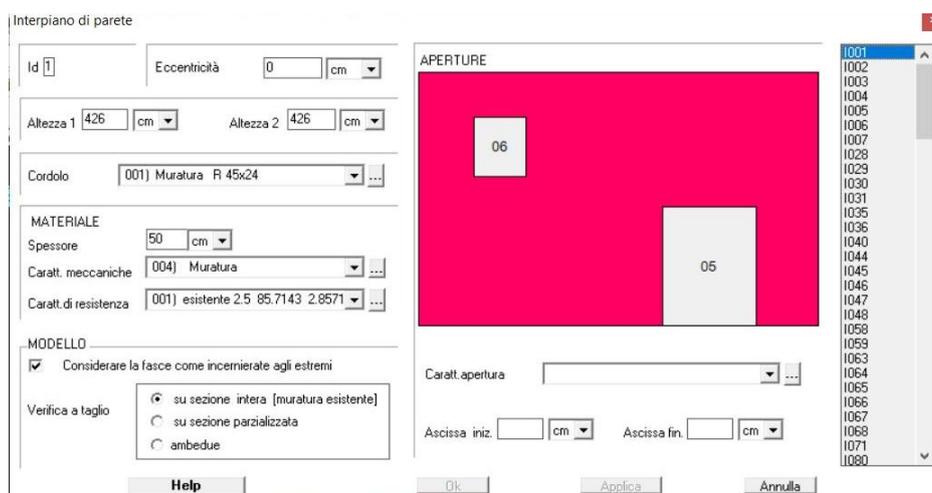


Fig. 5.2 Interpiano di parete con aperture

Le travi sono state modellate sulla base dalle piante strutturali, presenti nei particolari costruttivi forniti. L'edificio è costituito da una varietà di elementi strutturali, in legno e in acciaio. Le travi in acciaio sono state sostituite alle travi in degrado in seguito agli interventi di ristrutturazione, e si trovano prevalentemente al piano primo.

In Tab.5.3 sono mostrate le dimensioni di tutte le travi in legno presenti nell'edificio, con relative dimensioni e lunghezze.

Tab.5.3 Travi in legno presenti in Palazzo Odasi e relative dimensioni

Numero Trave in LEGNO	B [cm]	H [cm]	L [cm]
1437	20	30	495
1440	20	30	525
1442	20	30	525
1462	20	30	525
1463	20	30	525
1464	20	30	525
1465	20	30	525
1466	20	30	525
1467	20	30	525
1471	20	30	184
1472	20	30	187
1485	20	30	325
1486	20	30	330
1487	20	30	337
1491	20	30	374
1492	20	30	363
1639	20	30	327

Applicazione della scheda CARTIS e valutazione della vulnerabilità sismica e all'incendio degli edifici pubblici nel comune di Urbino

52	30	30	370
187	20	30	700
199	20	30	762
200	20	30	794
201	20	30	825
210	20	30	568
221	20	30	580
226	20	30	595
227	20	30	610
448	20	30	572
449	20	30	590
450	20	30	610
451	20	30	633
452	20	30	658
453	20	30	685
454	20	30	714
5971	20	30	745
574	20	30	602
575	20	30	627
576	20	30	650
577	20	30	675
578	20	30	700
582	20	30	745
880	20	30	530
881	20	30	528
882	20	30	525
883	20	30	520
884	20	30	516
885	20	30	512
890	50	50	1280
1014	30	30	306
1017	30	30	304
1020	30	30	300
1024	30	30	390
1025	30	30	415
1033	30	30	315
3139	20	30	458
3140	20	30	268
5897	30	30	306
5970	20	30	730

144	30	30	360
246	20	30	700
247	20	30	730

Applicazione della scheda CARTIS e valutazione della vulnerabilità sismica e all'incendio degli edifici pubblici nel comune di Urbino

248	20	30	760
249	20	30	794
250	20	30	825
251	20	30	568
252	20	30	580
253	20	30	595
254	20	30	610
1015	30	30	306
1018	30	30	300
1021	30	30	290
1026	30	30	390
1027	30	30	415
1039	30	30	315
1040	30	30	345
1301	20	30	570
1302	20	30	590
1303	20	30	610
1305	20	30	630
1306	20	30	660
1307	20	30	685
1308	20	30	715
1309	20	30	745
1310	20	30	512
1311	20	30	515
1312	20	30	520
1313	20	30	525
1314	20	30	530
1315	20	30	530
1317	50	50	1280

1187	30	30	715
1188	30	30	705

1269	20	30	1190
1270	20	30	1190
1271	20	30	1190
1272	20	30	1190
1273	20	30	1195
1274	20	30	1198
1275	20	30	1200
1276	20	30	1207
1277	20	30	1212
1278	20	30	1218

280	20	30	700
-----	----	----	-----

281	20	30	731
282	20	30	762
283	20	30	794
284	20	30	825
285	20	30	568
286	20	30	580
287	20	30	595
288	20	30	610
513	30	30	360
1016	30	30	306
1019	30	30	300
1022	30	30	290
1028	30	30	390
1029	30	30	415
1043	30	30	315
1044	30	30	345
1200	30	30	825
1201	30	30	837

In *Tab.5.4* sono invece mostrate le dimensioni e la numerazione delle travi in acciaio presenti nel primo piano.

Tab.5.4 Travi in acciaio presenti in Palazzo Odasi e relative dimensioni

Numero Trave in ACCIAIO	h [cm]	b [cm]	a [cm]	e [cm]	L [cm]
735	24	10,6	0,87	1,3	275
768	24	10,6	0,87	1,3	393
769	24	10,6	0,87	1,3	340
770	24	10,6	0,87	1,3	285
815	24	10,6	0,87	1,3	257
824	24	10,6	0,87	1,3	224
830	24	10,6	0,87	1,3	188
834	24	10,6	0,87	1,3	153
837	24	10,6	0,87	1,3	118

700	24	10,6	0,87	1,3	630
701	24	10,6	0,87	1,3	613
702	24	10,6	0,87	1,3	595
703	24	10,6	0,87	1,3	575
704	24	10,6	0,87	1,3	560
706	24	10,6	0,87	1,3	600
707	24	10,6	0,87	1,3	565
709	24	10,6	0,87	1,3	530

711	24	10,6	0,87	1,3	490
714	24	10,6	0,87	1,3	455
779	24	10,6	0,87	1,3	395
780	24	10,6	0,87	1,3	340
781	24	10,6	0,87	1,3	285
784	24	10,6	0,87	1,3	275
850	24	10,6	0,87	1,3	260
851	24	10,6	0,87	1,3	260
852	24	10,6	0,87	1,3	188
853	24	10,6	0,87	1,3	153
854	24	10,6	0,87	1,3	118
948	24	10,6	0,87	1,3	680
949	24	10,6	0,87	1,3	682
950	24	10,6	0,87	1,3	685
951	24	10,6	0,87	1,3	688
952	24	10,6	0,87	1,3	690
953	24	10,6	0,87	1,3	690
5955	24	10,6	0,87	1,3	532
5957	24	10,6	0,87	1,3	527
5959	24	10,6	0,87	1,3	523
5960	24	10,6	0,87	1,3	523
5961	24	10,6	0,87	1,3	515
5963	24	10,6	0,87	1,3	510
5964	24	10,6	0,87	1,3	600
5965	24	10,6	0,87	1,3	597
5966	24	10,6	0,87	1,3	595
5967	24	10,6	0,87	1,3	588
5968	24	10,6	0,87	1,3	590
5969	24	10,6	0,87	1,3	587

I pilastri invece sono caratterizzati dalle medesime dimensioni, $\Phi = 40$ cm, e sono composti da pietra e laterizio. Nella modellazione è stata applicata una semplificazione e sono stati rappresentati in laterizio. I pilastri in totale sono 11, 4 all'ingresso e 7 nel cortile interno.

La copertura è l'elemento più irregolare e complesso della struttura. E' costruita in legno ed è composta da travi del medesimo materiale. Il manto è di pianellato in piastrelle di laterizio aventi 3 cm di spessore. E' stata modellata tenendo conto delle travi di colmo e dell'inclinazione di ogni elemento.

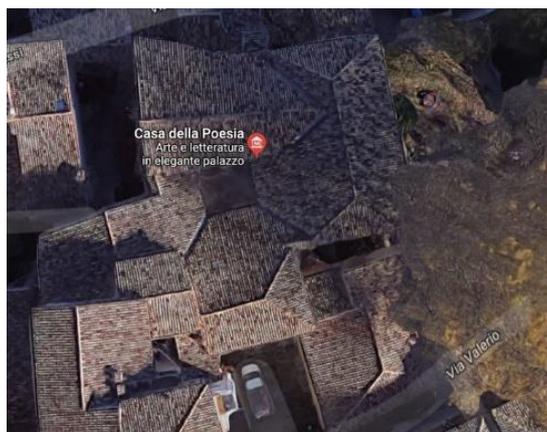


Fig. 5.3 Pianta della copertura estratta da Google Maps

Infine sono state modellate le fondazioni, situate a quote diverse a causa della presenza di interrato e seminterrato. Lo schema delle fondazioni è piuttosto irregolare, sono state definite tre quote a cui si trovano i setti di muratura e modellati tenendo conto delle dimensioni di ogni maschio murario che devono sorreggere. In primo luogo è stato tracciato il cordolo di fondazione a cui è stata associata una scheda di estremi rigidi con proprietà di *Trave infinitamente rigida*. Il coefficiente di Winkler assegnato per la muratura è pari a 4. In conclusione è fondamentale inserire i vincoli di fondazione con la scheda *blocco orizzontale*, così da conferirgli un'adeguata rigidezza.

Prima di procedere con la modellazione è stato fondamentale mettere in chiaro alcune semplificazioni quali:

- Le fondazioni sono state modellate come setti in muratura, così come rappresentato nei progetti esecutivi. Alcuni punti sono però caratterizzati dall'aggiunta di micropali così da rinforzare la fondazione, nella modellazione sono stati inseriti unicamente i setti come semplificazione.
- I solai sono stati modellati e applicati i relativi carichi gravitazionali.
- Le colonne sono composte da pietra e muratura, si è deciso di modellarle in muratura.
- La copertura è stata modellata seguendo le immagini fornite, e rendendola realistica. Allo stesso tempo essendo irregolare non è stato possibile inserire i carichi tramite l'opzione piano per 3 punti, perciò è stato caricato l'ultimo solaio con le caratteristiche della copertura stessa.

5.2 Analisi dei carichi verticali

Dopo aver provveduto alla realizzazione del modello è stato fondamentale definire i carichi gravanti sui solai. Una volta applicati, questi vengono direttamente distribuiti sulle travi, senza doverle caricare una a una. Sono stati analizzati i carichi dovuti al peso proprio strutturale, al peso proprio non strutturale e al carico accidentale relativamente a un palazzo storico, ora adibito a museo. Per definire i pesi si è fatto riferimento alle NTC 2008, e conoscendo le stratigrafie sono stati dedotti i vari carichi gravanti.

Il solaio è stato supposto avente spessore di 24 cm, perciò il *carico permanente strutturale* vale 2,70 kN/m². Il *carico accidentale* è stato invece definito grazie alle NTC 2008, essendo il palazzo adibito alla funzione di museo vale 5 kN/m².

Tab.5.5 Indicazione carichi accidentali a seconda degli ambienti

Cat.	Ambienti	q _k [kN/m ²]	Q _k [kN]	H _k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

Infine, il calcolo dei carichi permanenti non strutturali è stato effettuato conoscendo la stratigrafia, e soprattutto gli elementi che gravano sul solaio.

Tab.5.6 Indicazione carichi permanenti non strutturali sui solai intermedi

Peso proprio non strutturale G_{2K} [kN/m ²]			
	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Pavimento	0.02	27	0.54
Allettamento	0.03	20	0.6
Massetto per impianti	0.05	16	0.8
Isolante	/	/	0.03
Intonaco	0.02	20	0.4
Tramezzi	/	/	1.2
Muratura	/	/	1.0
			4.6

Il peso dei tramezzi è stato possibile calcolarlo tramite una tabella fornita dalle NTC 2008, che sulla base del peso proprio strutturale permette il calcolo del peso dei tramezzi gravante su esso, come possibile osservare dalla Fig.5.4.

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Fig. 5.4 Tabella per il calcolo degli elementi divisori

In riferimento alla copertura invece, il *peso permanente non strutturale* sul solaio di copertura è stato calcolato considerando il peso del pianellato in piastrelle di laterizio avente 3 cm di spessore, insieme a quello dei listelli e dei puntoni, raggiungendo un peso totale pari a 0,006 daN/cm². Mentre per i *carichi accidentali* il valore riferito alle coperture accessibili per sola manutenzione è pari a 0,5 kN/m², il *peso proprio* rimane invece invariato.

Per completare l'analisi dei carichi verticali è fondamentale considerare anche il carico dovuto alla neve. Il carico dovuto all'azione della neve sulle coperture è valutato tramite l'espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t \quad (5.1)$$

In cui:

- q_s è il carico della neve sulla copertura,

- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, calcolabile al variare della pendenza, nel caso in esame la pendenza è pari a 20°:

Tab.5.7 Coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo, per un periodo di ritorno di 50 anni. E' calcolabile secondo quanto segue, essendo la provincia di Pesaro-Urbino in zona I, e $a_s >$ di 200 m:

Zona I – Mediterranea

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forli-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$\begin{aligned}
 q_{sk} &= 1,50 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\
 q_{sk} &= 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{3.3.9}$$

32

Fig. 5.5 Estratto dalle NTC 2008 per il calcolo del valore caratteristico di riferimento

- C_E coefficiente di esposizione, pari a 1 in quanto classe di topografia 'normale':

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Fig. 5.6 Estratto dalle NTC 2008 per il calcolo del coefficiente di esposizione

- C_T coefficiente termico, in assenza di uno specifico assunto pari a 1 [22].

In Tab.5.8 il calcolo dei carichi dovuti all'azione della neve, inseriti in ogni solaio di copertura.

Tab.5.8 Carico dovuto all'azione della neve

Carico da neve (Falda 20°) $q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$ [kN/m ²]						
a_s [m]	q_{sk} [kN/m ²]	C_E	C_t	α	μ_i	q_s (vert)
451	2.11	1	1	20	1.07	2.25

5.3 Analisi dell'azione sismica

Per una valutazione della risposta strutturale in seguito a un evento sismico, si effettuano generalmente le seguenti analisi:

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica lineare
- Analisi statica non lineare (Pushover)
- Analisi dinamica non lineare

Lo studio eseguito consiste nello svolgimento dell'analisi statica lineare, dinamica lineare e della verifica delle murature. In questo modo è stato possibile avere un quadro piuttosto completo della resistenza al sisma dell'edificio in esame. Le analisi sono state completate grazie al software di calcolo DOLMEN, in cui inserendo i relativi dati che caratterizzano Palazzo Odasi e il luogo in cui si trova è stato possibile rendere realistico il calcolo da svolgere tramite il programma.

5.3.1 Dati generali

In primo luogo occorre definire i dati da inserire all'interno del programma di calcolo: località, comune, zona sismica in cui è ubicato, coordinate di latitudine e longitudine. La prima fase di compilazione dati è mostrata in Fig.5.7. Urbino si trova in zona sismica 2.

Dati generali per sismica (NTC 2018)

Zona | Suolo | Topografia | Fattore comport. q | Dati progetto | Vulnerabilità

Località: URBINO

Comune: Urbino (Pesaro e Urbino) - Marche

Zona sism.: 2

Latitudine: 43.7259

Longitudine: 12.6362

ID= 20300 | ID= 20301
(12.6362, 43.7259)

ID= 20522 | ID= 20523

Applica | Applica e chiudi | Chiudi

Fig. 5.7 Dati generali per il calcolo delle sollecitazioni causate dall'azione del sisma

In seguito si passa all'identificazione del tipo di suolo, Palazzo Odasi sorge su terreni a grana fine ma molto consistenti, perciò la categoria di sottosuolo è la 'B', come si può notare dalla Fig.5.8.

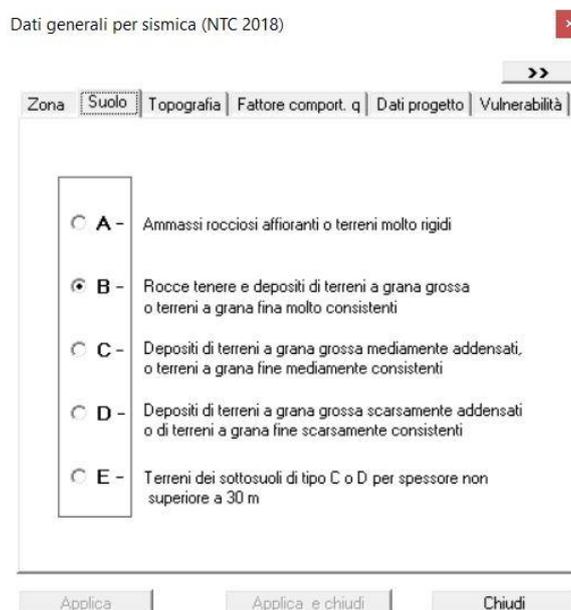


Fig. 5.8 Individuazione categoria di sottosuolo

Il coefficiente topografico è pari a 1, e si è poi inserito il valore a cui corrisponde il fattore di struttura, sia per azioni verticali sia per azioni orizzontali.

Il valore del fattore di struttura q è quantificabile sulla base della tipologia strutturale, tenendo conto del grado di iperstaticità a cui corrisponde e dei criteri di progettazione adottati. E' calcolabile tramite l'espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (5.2)$$

In cui: q_0 è il valore massimo del fattore di struttura e dipende dal livello di duttilità a cui corrisponde, dalla tipologia strutturale e dal rapporto tra α_u e α_l (rapporto tra il valore per cui si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche che rendono la struttura labile, e il valore per cui il primo elemento strutturale arriva a plasticizzarsi a flessione). K_R è invece un fattore riduttivo dipendente dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, vale 1 se i fabbricati sono regolari in altezza e 0,8 se non sono regolari in elevazione [22]. Per permettere che il programma generasse il fattore di struttura è stato necessario inserire tali informazioni, e affermare la tipologia strutturale, nel caso in esame: muratura ordinaria.

Dati generali per sismica (NTC 2018)

Zona | Suolo | Topografia | **Fattore comport. q** | Dati progetto | Vulnerabilità

Per azioni verticali :
q 1.50

Per azioni orizzontali :
q 2.38 | Edificio con struttura in muratura

q = q₀ · K_R = 2.98 · 0.80

Tipologia strutturale
Muratura ordinaria

Classe di duttilità
Classe di duttilità "B" (bassa)

α_u / α₁ 1.7 Muratura ordinaria
per struttura regolare in pianta

K_R 0.8 (Edifici non regolari in altezza)

Applica | Applica e chiudi | Chiudi

Fig. 5.9 Definizione fattore di struttura

Infine si è determinato il valore a cui corrisponde la vita nominale della struttura, il coefficiente d'uso, il periodo di riferimento e il coefficiente di smorzamento (assunto pari al 5%, il 30% si riferisce a sistemi costituiti da smorzatori).

Tab.5.9 Vita nominale a seconda del tipo di costruzione

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V _N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Il coefficiente di vita nominale espresso in anni risulta pari a 50, in quanto Palazzo Bonaventura-Odasi è un edificio ordinario. La classe d'uso è la terza, in quanto essendo un edificio adibito a museo prevede elevati affollamenti, il coefficiente risulta essere perciò pari a 1,5. Il periodo di riferimento è calcolabile tramite il rapporto tra vita nominale e coefficiente d'uso, assumendo perciò un valore pari a 75.

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (5.3)$$

Inoltre è inserita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} al variare dello stato limite considerato, nel caso in esame si considera lo stato limite di salvaguardia della vita SLV pari al 10%, e per stato limite di esercizio lo stato limite di danno SLD pari al 63%. Ci si riferisce alla probabilità di superamento per determinare l'azione sismica

agente in ogni stato limite considerato. Infine è stato fondamentale inserire l'informazione muratura esistente, tenendo conto del fatto che l'edificio è un palazzo storico.

Dati generali per sismica (NTC 2018)

Zona | Suolo | Topografia | Fattore comport. q | **Dati progetto** | Vulnerabilità

Struttura esistente

Vita nominale dell'opera V_N

Coefficiente d'uso C_U

Periodo di riferimento

P_{VR} di progetto (%)

P_{VR} di esercizio (%)

Coef. di smorzamento viscoso ξ (%)

Applica | Applica e chiudi | Chiudi

Fig. 5.10 Inserimento dati di progetto

Infine il programma fornisce come output la definizione dello spettro elastico e di progetto. Lo spettro di progetto corrisponde allo spettro scalato del fattore di struttura, ed è indicato in Fig.5.11 in colore nero.

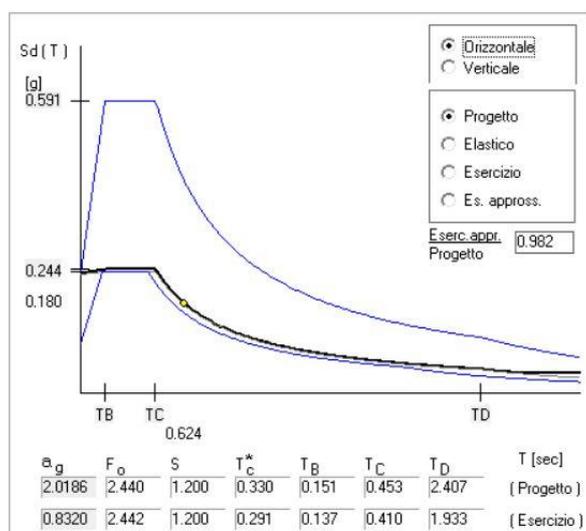


Fig. 5.11 Spettri di progetto e di esercizio

5.3.2 *Analisi dinamica lineare*

L'analisi dinamica lineare consiste in un metodo di riferimento e tratta:

- La determinazione dei modi di vibrare della costruzione, grazie all'ausilio dell'analisi modale;
- Il calcolo degli effetti dell'azione sismica, tramite lo spettro di risposta di progetto riferito a ciascun modo di vibrare;
- La combinazione di tali effetti.

E' opportuno considerare i modi con massa partecipante significativa, ovvero superiore al 5% e con un numero di modi la cui massa partecipante in totale è superiore dell'85% [22].

Dal punto di vista matematico l'obiettivo è quello di disaccoppiare le equazioni del moto, ciascuna equazione del moto riferita a ogni grado di libertà si può ricondurre all'equazione del moto di un sistema SDOF (Single Degree of Freedom System). La risposta di un sistema MDOF (Master Degree of Freedom System) ad n gradi di libertà consiste nella combinazione lineare di n sistemi SDOF. Il sistema espresso in (5.5) è composto da equazioni differenziali accoppiate, e deve essere trasformato in un insieme di equazioni disaccoppiate [23].

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (5.5)$$

Il sistema di equazioni sarà disaccoppiato nel momento in cui [M] e [K] saranno diagonali. Gli autovettori invece rappresentano i modi di vibrare del sistema, dato che la matrice di massa e rigidezza sono diagonali si afferma che ciascun autovettore è indipendente dagli altri, e che ognuno è ortogonale rispetto alla matrice di rigidezza e di massa. Gli autovettori sono degli elementi importanti in quanto rendono possibile la diagonalizzazione della matrice di massa e rigidezza, favorendo il disaccoppiamento del moto [24].

Applicando l'analisi dinamica tramite il software di calcolo Dolmen sono stati individuati i primi 7 modi di vibrare, con corrispondente valore di periodo e % di massa attivata. Si è deciso di considerare i primi sette modi in quanto investono la maggior percentuale di massa investita dal sisma. Si è notato come il periodo del primo modo di vibrare presenti un valore pari a 0,53 s, che non si discosta in modo eccessivo dal periodo calcolato da normativa pari a 0,59 s. Ciò mostra una certa corrispondenza tra edificio modellato sul programma e l'edificio considerato teoricamente tramite normativa. In *Fig.5.12* sono indicati i periodi relativi ai primi 7 modi di vibrare di Palazzo Odasi.

Num.	Periodo
<input checked="" type="checkbox"/>	1 0.533936
<input checked="" type="checkbox"/>	2 0.444770
<input checked="" type="checkbox"/>	3 0.381317
<input checked="" type="checkbox"/>	4 0.241635
<input checked="" type="checkbox"/>	5 0.224113
<input checked="" type="checkbox"/>	6 0.138496
<input checked="" type="checkbox"/>	7 0.128208

Fig. 5.12 Periodi relativi ai primi 7 modi di vibrare dell'edificio in esame

Non appena svolta l'analisi dinamica sono stati calcolati gli spostamenti in riferimento a ciascun autovettore. La struttura è caratterizzata da grande stabilità essendo realizzata in muratura portante, allo stesso tempo, l'unica parte dell'edificio che presenta un grado di instabilità maggiore è la porzione situata accanto l'ingresso principale. E' un corpo a sé, caratterizzato da luci di travi in legno notevolmente elevate, aventi una lunghezza pari a 10 m, ovviamente non verificate dopo aver eseguito il calcolo delle analisi statiche e dinamiche. In questa parte di Palazzo Odasi sono stati registrati spostamenti maggiori, come espresso in Fig. 5.13. In figura si nota come in seguito all'analisi dinamica assegnando la condizione *autovettore 1*, lo spostamento massimo sia pari a 0,35 cm.

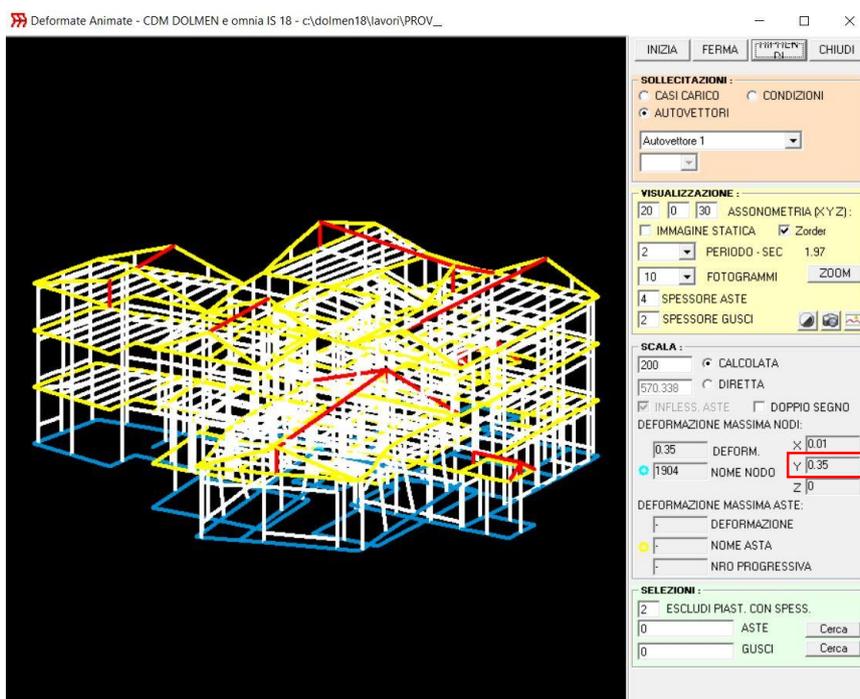


Fig. 5.13 Deformata animata con sollecitazione autovettore 1

In seguito sono stati analizzati i risultati nella condizione Sisma X e Sisma Y. Si nota come l'edificio investito dal sisma in entrambe le direzioni presenti i seguenti spostamenti massimi:

- Spostamento massimo in condizione sisma in direzione X: 3,06 cm;
- Spostamento massimo in condizione sisma in direzione Y: 1,5 cm.

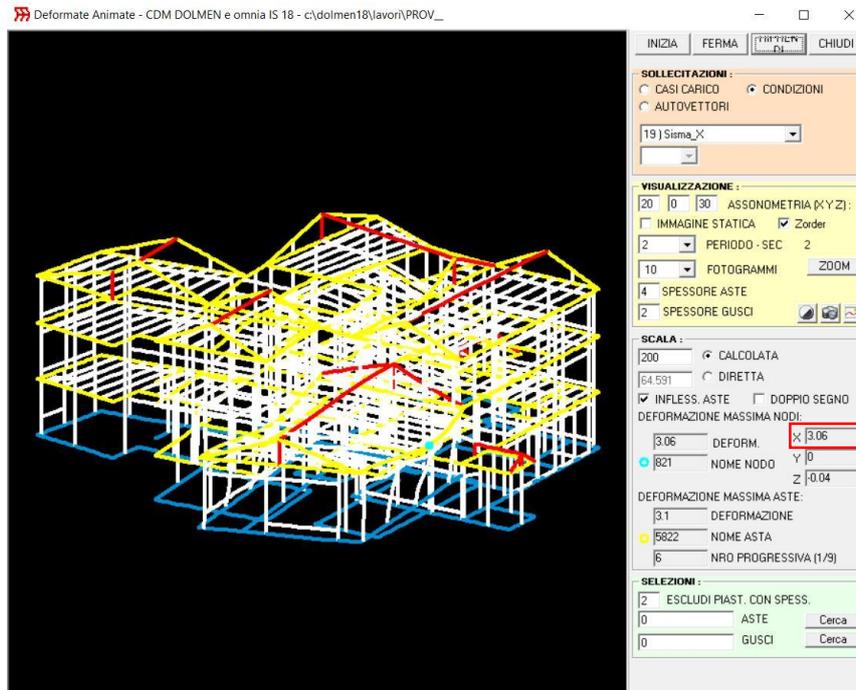


Fig. 5.14 Deformata animata in condizione Sisma_X

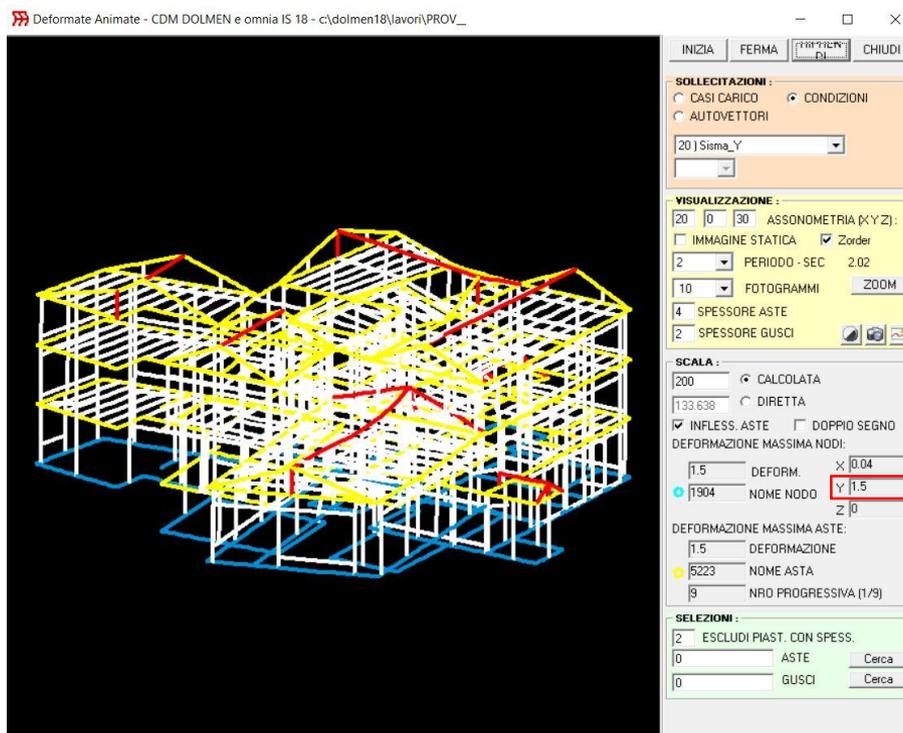


Fig. 5.15 Deformata animata in condizione Sisma_Y

Si nota come gli spostamenti non risultino essere troppo significativi, a causa della stabilità fornita dalla struttura portante in muratura.

5.3.2 Analisi statica lineare

L'analisi statica lineare tratta l'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia, generate dall'evento sismico. Può essere applicata a costruzioni che rispettano determinati requisiti, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale T_1 non superi $2,5 T_C$ oppure T_D .

Per fabbricati che non superano 40 m di altezza e la cui massa sia regolarmente distribuita in elevazione, T_1 può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} \quad (5.4)$$

In cui H corrisponde all'altezza del fabbricato, C_1 è invece pari a 0,050 per costruzioni non in acciaio e non in cemento armato [22]. Perciò il periodo T_1 calcolato tramite normativa risulta essere pari a 0,59 s.

Si è utilizzato il software Dolmen per svolgere l'analisi statica, è stato sufficiente inserire i dati generali riferiti a Urbino, impostare la combinazione sismica di Fig.5.16 e avviare il calcolo tramite la sezione 'Calcolo sollecitazioni'.

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Fig. 5.16 Combinazione sismica utilizzata

Tramite l'analisi statica lineare si è valutato il momento torcente addizionale, in funzione del periodo del primo modo di vibrare calcolato tramite l'analisi dinamica lineare. La quale è stata necessaria prima dello svolgimento del *calcolo delle sollecitazioni*.

Carichi sismici :

Piani	Pesi	C. distr.	Forze piano	Torc. piano X	Torc. piano Y	Bar. X	Bar. Y
cm	daN		daN	daNcm	daNcm	cm	cm
474.0	42231	0.0763	3222	289956	200720	2229.1	7968.9
811.0	57180	0.1305	7463	268324	325052	2207.0	6086.6
900.0	499397	0.1448	72334	8696025	14205004	2625.2	7345.6
1196.0	48784	0.1925	9390	338461	425257	2188.0	5949.1
1326.0	436116	0.2134	93068	19523624	15999280	2750.7	6951.3
1686.0	257935	0.2713	69988	10628068	11931810	2388.3	7103.5

Fig. 5.17 Risultati ottenuti in seguito all'analisi statica

Inserendo il caso di carico *momento torcente addizionale lungo X* e analizzando i risultati, si nota come il massimo spostamento sia pari a 0,95 cm.

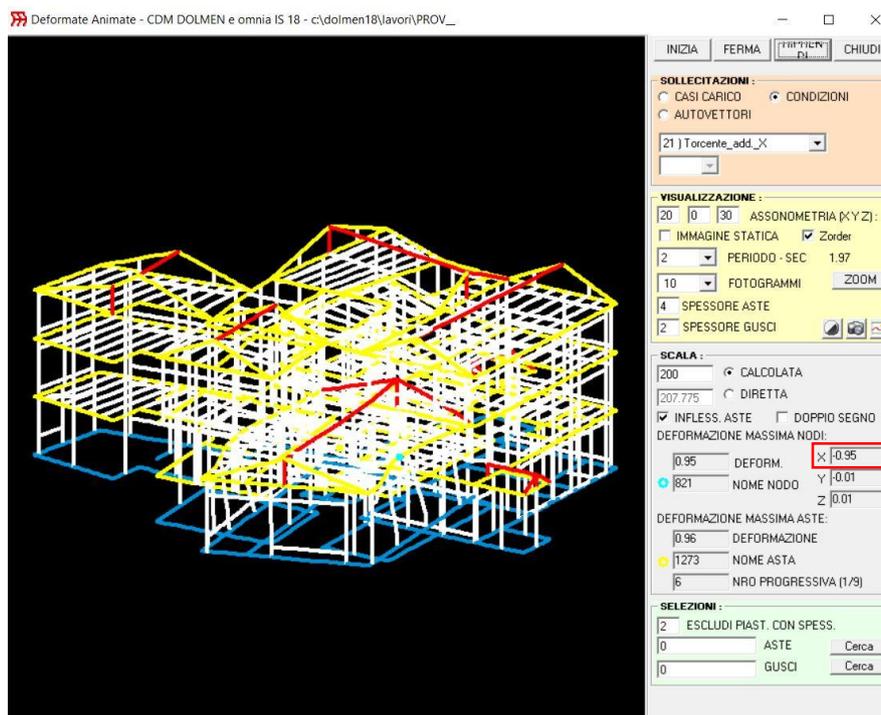


Fig. 5.18 Risultati ottenuti in condizione 'Torcente lungo x'

In seguito è stato osservato il caso di carico *momento torcente addizionale lungo Y*. In questa situazione lo spostamento massimo è minore rispetto al caso precedente, e pari a 0,56 come espresso in Fig.5.19.

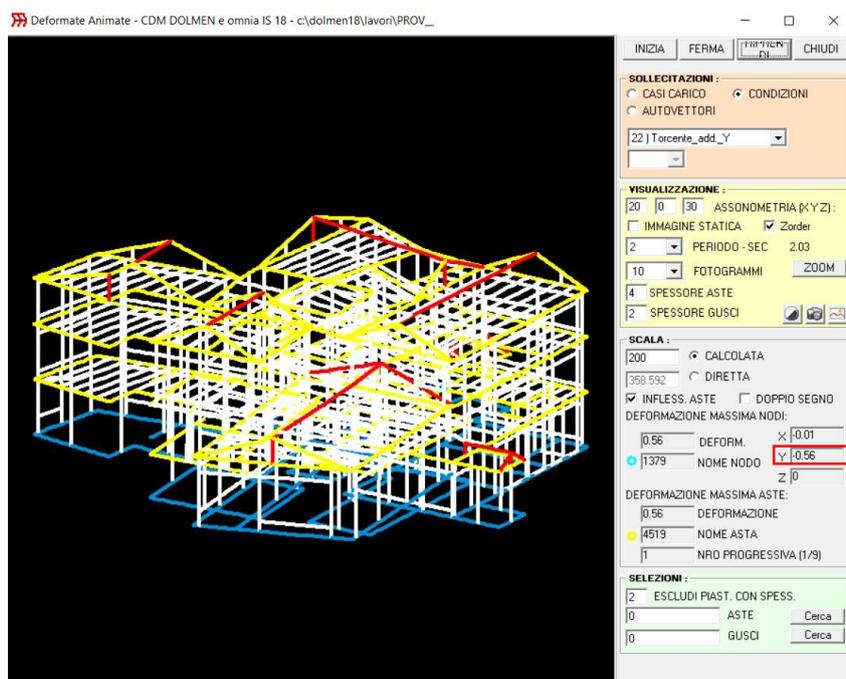


Fig. 5.19 Risultati ottenuti in condizione 'Torcente lungo y'

E' possibile osservare come i risultati ottenuti grazie all'analisi statica lineare siano simili rispetto a quelli ricavati dall'analisi dinamica lineare, nonostante l'analisi statica sia meno significativa della dinamica.

5.3.4 Calcolo delle sollecitazioni

Il calcolo delle sollecitazioni si è eseguito tramite il metodo agli elementi finiti. Il programma genera un sistema di equazioni funzione del numero di elementi creati nel modello, quali aste, gusci, nodi, dei carichi agenti e delle assunzioni previste come ad esempio quella di piano rigido. I termini del rapporto output del calcolo delle sollecitazioni sono le energie di deformazione e il lavoro delle forze esterne, se è diverso da 1 il calcolo non è valido a causa della labilità della struttura. Se il rapporto è pari a 0,9999 non occorre preoccuparsi in quanto la struttura non è comunque considerata labile. Il rapporto Energia/Lavoro è mostrato in *Fig.5.20*.

Dopo il calcolo delle sollecitazioni sono state generate le combinazioni di carico. I casi di carico possono essere costruiti sulla base del calcolo, data l'ipotesi di linearità. Tramite la funzione *Casi di carico 2018* è stato possibile definire i vari coefficienti automaticamente, seguendo le nuove normative NTC 2018. Sono in seguito stati creati i vari casi di carico da eseguire, ed è stato possibile selezionarli scegliendo così secondo quali casi si intendesse verificare la struttura. L'ultima operazione compiuta è stata *calcola casi*.

```
fem - [Graphic1]
File Edit View State Window Help
Letture dati grafici...
Tolleranza xyz : 1.0E-01
...eseguita
Nodi : 1496
Aste : 2109
Creazione piano rigido 1 - quota -1.0 / 1.0
Creazione piano rigido 2 - quota 425.0 / 427.0
Creazione piano rigido 3 - quota 851.0 / 853.0
Creazione piano rigido 4 - quota 1211.0 / 1213.0
Gusci triangolari: 0
Gusci quadrang. : 4
Carichi nodi : 3291
Carichi aste : 1957
Carichi gusci : 0
Condizioni : 22
Banda utente : 1461
Banda effettiva : 1009
Elementi inseriti:
allocating 55.384 Mbytes...
aste gusci tr. gusci quad.
4265 0 4
Costruzione matrice carichi
Triangolarizzazione
Equazioni 8976
8976
Calcolo sollecitazioni aste
2109
Calcolo sollecitazioni gusci quadrang.
4
Generazione archivi
Condizioni Energia/Lavoro
1 1.000000
2 1.000000
3 1.000000
4 1.000000
5 1.000000
6 1.000000
7 1.000000
8 1.000000
9 1.000000
10 1.000000
11 1.000000
12 1.000000
13 1.000000
```

Fig. 5.20 Calcolo delle sollecitazioni tramite il software Dolmen

Scheda Casi di Carico - Lavoro: PROV_

CARATTERISTICHE DEI CASI DI CARICO CREATI Numero di casi di carico creati: 12

R	Nome	Descrizione	Tipo Ver	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/>	1	SLU SENZA SISMA	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	2	SISMAX SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	3	SISMAY SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	4	SLU con SISMAX PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	5	SLU con SISMAY PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	6	SLD con SISMAX PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	7	SLD con SISMAY PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	8	SLU FON con SISMAX P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	9	SLU FON con SISMAY P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	10	Rara	Rara	Somma caratteristiche

Approcci NTC18
 Approccio 1 Approccio 2

Usa per il calcolo

 Calcola a blocchi di: 20

CASO di CARICO CORRENTE (1)

Condizioni di carico

1 Peso_proprio _____ Condizioni Includi un caso di carico esistente
 1.0000 Coefficiente moltiplicatore

Somma semplice (+)
 Somma doppia (+/-)
 Somma quadratica Includi condizione

Condizione/Caso	Descrizione	Coefficiente	Tipo
1	Peso_proprio	1.3000	Somma Semplice
2	Permanente	1.5000	Somma Semplice
3	C3:Var_musei	1.5000	Somma Semplice
4	Neve_(<1000m_slm)	1.5000	Somma Semplice

Elenco dei componenti del caso corrente

Fig. 5.21 Caratteristiche dei casi di carico creati

In Fig. 5.22 è espressa la funzione proponi casi che ha permesso la verifica della struttura secondo le nuove normative NTC 2018.

Proponi casi NTC18

Crea casi per:

- S.L.U. senza sisma (STR)
- S.L.U. con sisma (STR)
- S.L.D.
- S.L.E.
- Azione del vento
- S.L.U. Geotecnica (GEO)
- S.L.U. Equilibrio (EQU)
- S.L.U. Fondazioni
- S.L.U. Gerarchia
- Incendio

Coefficienti

S.L.U. senza sisma (NTC18 - 2.6.1)

Pesi propri struttura:

Carichi Permanenti:

Carichi Variabili, Neve, Vento:

S.L.U. GEO (NTC18 - 2.6.1)

Pesi propri struttura:

Carichi Permanenti:

Carichi Variabili, Neve, Vento:

S.L.U. EQU (NTC18 - 2.6.1)

Pesi propri struttura:

Carichi Permanenti:

Carichi Variabili, Neve, Vento:

S.L.U. Fondazioni (NTC18 - 7.2.5)

CD"A"

CD"B"

Coef. applicato al sisma:

S.L.E., S.L.U. e S.L.D. Sismico e S.L.U. Eccezionale (NTC18 - 2.5.3)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A Ambienti uso residenziale:	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.3"/>
Categoria B Uffici:	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.3"/>
Categoria C Ambienti con affollamento:	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.6"/>
Categoria D Ambienti uso commerciale:	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.6"/>
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e amb. ind.:	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="text" value="0.8"/>
Categoria F Rimesse e parcheggi (peso autov. < 30kN):	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.6"/>
Categoria G Rimesse e parcheggi (peso autov. > 30kN):	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.3"/>
Categoria H Coperture:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Vento:	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0"/>
Neve (quota < 1000 m s.l.m.):	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0"/>
Neve (quota > 1000 m s.l.m.):	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.2"/>
Variazioni termiche:	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0"/>

Applica per SLD il coefficiente:

Reimposta valori di default

Esegui Annulla

Fig. 5.22 Proposta casi di carico 2018

5.3.5 Verifica delle murature

Tramite il software di calcolo Dolmen, nella sezione verifica murature è stato possibile osservare quali maschi murari risultano verificati. La struttura è colorata di verde, fucsia, azzurro e grigio, ogni colore corrisponde a uno stato di verifica:

- Verde – Verificato;
- Fucsia – Non verificato a pressoflessione nel piano;
- Grigio – Non verificato ad azione sismica;
- Azzurro – Non verificato a pressoflessione fuori piano.

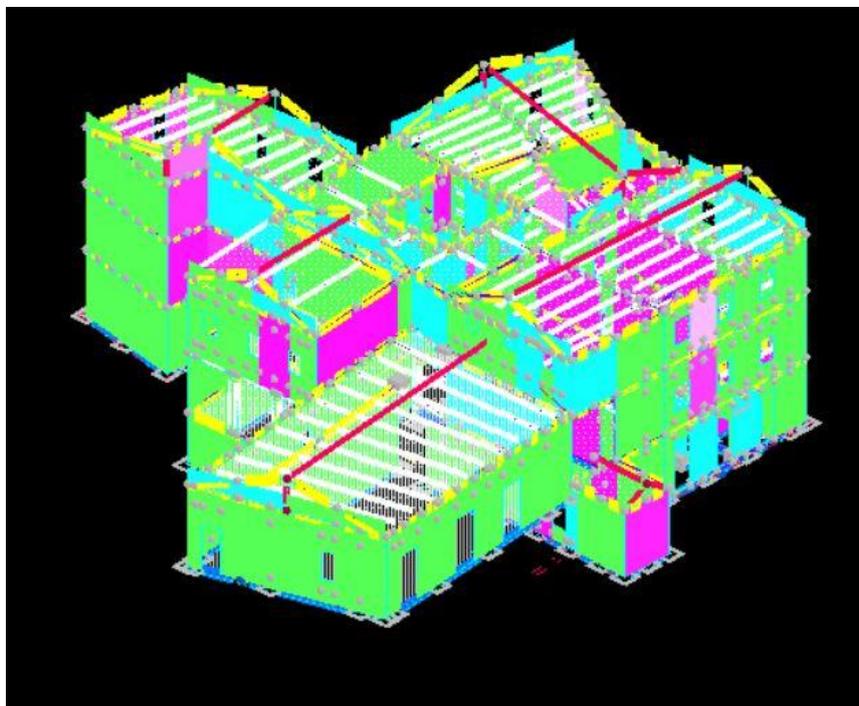


Fig. 5.23 Maschi murari verificati o meno a seconda del colore

In seguito all'analisi svolta è stato possibile notare come il 74,8% di maschi murari risultano verificati all'azione sismica, mentre:

- Il 7,1% non è verificato a pressoflessione nel piano (pressoflessione e taglio),
- Lo 0% non è verificato ad azione sismica,
- Il 18,2% non è verificato a pressoflessione fuori piano (causato da azioni perpendicolari al piano delle pareti).

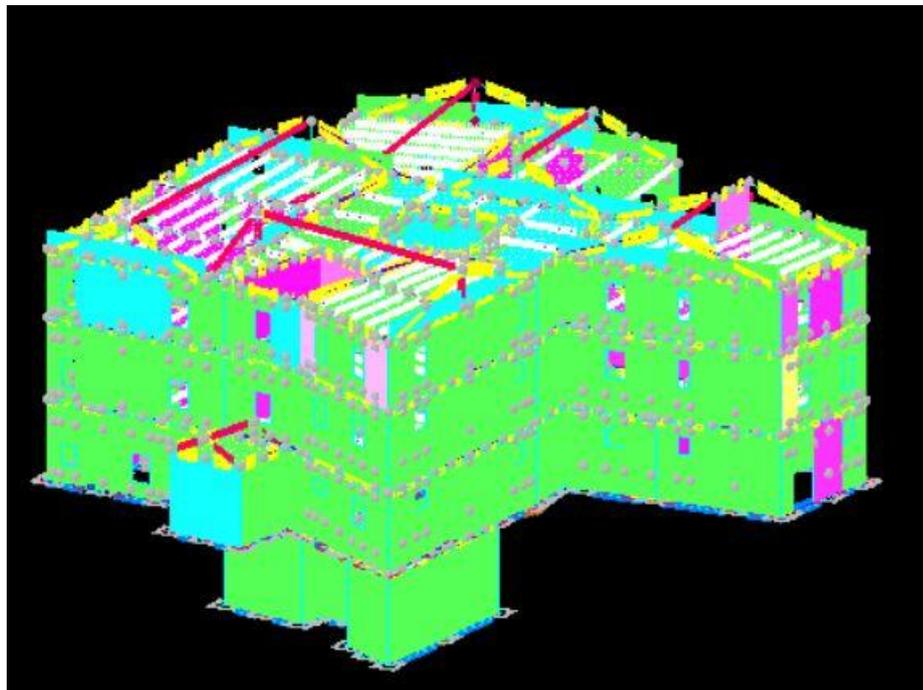


Fig. 5.24 Seconda vista dei maschi murari verificati o meno a seconda del colore

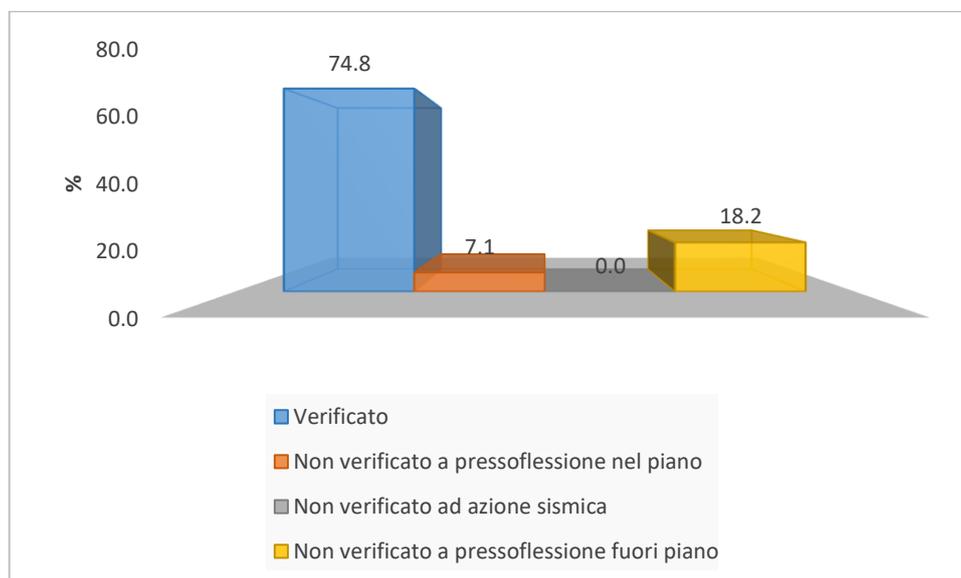


Fig. 5.25 Statistica maschi murari verificati e non verificati

5.4 Verifica all'incendio

L'incendio è un fenomeno che riguarda l'ossidazione di materiali combustibili con conseguente sviluppo di energia tramite luce e calore. Il fenomeno di combustione provoca

un veloce e ampio aumento della temperatura dell'ambiente fino a raggiungere temperature superiori ai 1000°C. Affinché un incendio si svolga devono coesistere: un combustibile, un comburente, nel caso in esame aria, e una sorgente iniziale di energia.

L'incendio è composto da tre fasi: la fase di accensione, di incendio e di estinzione o raffreddamento. Si parte con l'apparire delle fiamme fino ad arrivare al flashover, ovvero combustione totale di tutto il materiale partecipante all'incendio. Successivamente con la fase di incendio la temperatura cresce velocemente fino ad arrivare a più di 1000°C, infine si passa alla fase in cui la temperatura inizia a diminuire fino all'estinzione e viene considerata conclusa nel momento in cui la temperatura media raggiunge i 300°C. La propagazione di un incendio avviene per irraggiamento, convezione, trasporto di materia a causa di correnti ascensionali, per contatto diretto [25].

I fabbricati devono essere progettati così che nel caso di incendio:

- La capacità portante della struttura sia idonea per un periodo di tempo;
- La produzione e propagazione delle fiamme e dei fumi non sia elevata;
- L'incendio non investa le costruzioni limitrofe;
- Gli occupanti possano abbandonare la costruzione o raggiungere i luoghi sicuri;
- Siano messe in sicurezza le squadre di soccorso [26].

Prima di procedere con la progettazione al fuoco è fondamentale distinguere due concetti fondamentali: reazione al fuoco e resistenza al fuoco. La prima è il comportamento di un materiale che a causa della sua decomposizione può alimentare o meno l'incendio, partecipandovi. E' quindi un elemento che tende a descrivere i materiali come: rivestimenti, pannelli, controsoffitti. Non esistono modelli di calcolo che permettono di determinare la reazione al fuoco, che avviene tramite sperimentazioni su campioni di laboratorio. I materiali appartenenti alla classe A1 sono non combustibili, peggiorando le proprie condizioni raggiungendo la lettera F. Per resistenza al fuoco si intende invece la capacità di un edificio di resistere per un dato periodo di tempo alla tenuta e all'isolamento in caso di incendio. La normativa REI distingue le seguenti classi di resistenza: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360. I numeri corrispondono al tempo espresso in minuti durante il quale la resistenza al fuoco deve essere garantita [27].

5.4.1 Modellazione e verifica tramite Dolmen 18

La progettazione al fuoco è un argomento estremamente attuale, ed è diventata obbligatoria per la maggior parte dei fabbricati, a partire dalla pubblicazione delle NTC 2008. In primo luogo occorre definire la combinazione all'incendio, il programma l'assume

automaticamente nel momento in cui si decide di generare la verifica. Si è utilizzata la sezione *IS fuoco*, la quale si occupa del progetto e verifica di elementi all'incendio. Una volta generate l'analisi statica lineare e l'analisi dinamica lineare è stato possibile inserire i valori relativi al momento, taglio e sforzo normale di ciascuna trave o pilastro, e sono stati verificati tutti gli elementi orizzontali e verticali, sia in legno sia in acciaio sia in laterizio, uno a uno.

In primo luogo sono state editate le dimensioni delle sezioni esaminate, non è stato possibile inserire le armature, in quanto travi in legno e in acciaio in cui non sono previste. Nella sezione impostazioni – materiali meccanici, è stato possibile inserire le proprietà meccaniche dei materiali già presenti di default (come l'acciaio), oppure da inserire (come il legno), inserendo la curva sforzi-deformazioni relativo al materiale in esame.

In seguito nella sezione impostazioni – materiali termici sono state inserite le restanti tre curve:

- Temperatura – conducibilità termica,
- Temperatura – calore specifico,
- Temperatura – densità.

Il tutto in riferimento a ogni materiale analizzato, quali nel caso in esame: legno, acciaio, laterizio.

Una volta inseriti i dati base relativi ai materiali in esame sono stati calcolati i risultati termici e meccanici. In riferimento ai risultati termici, si è evidenziato quale lato è esposto all'incendio e quale a temperatura ambiente, il primo contrassegnato in colore rosso, il secondo in azzurro e corrispondente a 20°C. Il passo successivo è stato la generazione delle mesh, e la definizione del numero di mappe e la durata di esse, nel caso in esame si sono scelte 4 mappe da 30 minuti. Si è proceduto in seguito con l'analisi termica tramite il comando brucia, la barra di progressione ha iniziato a muoversi da 0 a 120 minuti. Così è stato possibile vedere i risultati ogni 30 minuti. In Appendice C è possibile osservare tutte le verifiche termiche a partire da 0 minuti a 120 minuti, relative ad ogni trave, sia in legno sia in acciaio. In *Fig.5.26*, *Fig.5.27* e *Fig.5.28* degli esempi rappresentativi di tre travi verificate termicamente, rispettivamente in legno, acciaio e laterizio.

Dal punto di vista meccanico invece sono stati utilizzati i valori di sforzo assiale, taglio e momento forniti dal *CAD 3D* in seguito all'analisi statica e dinamica, inserendo come condizione di carico adatta alla verifica all'incendio la condizione: *quasi permanente*. Il

programma ha consentito la verifica degli elementi mostrando il diagramma riportato in Fig.5.29.

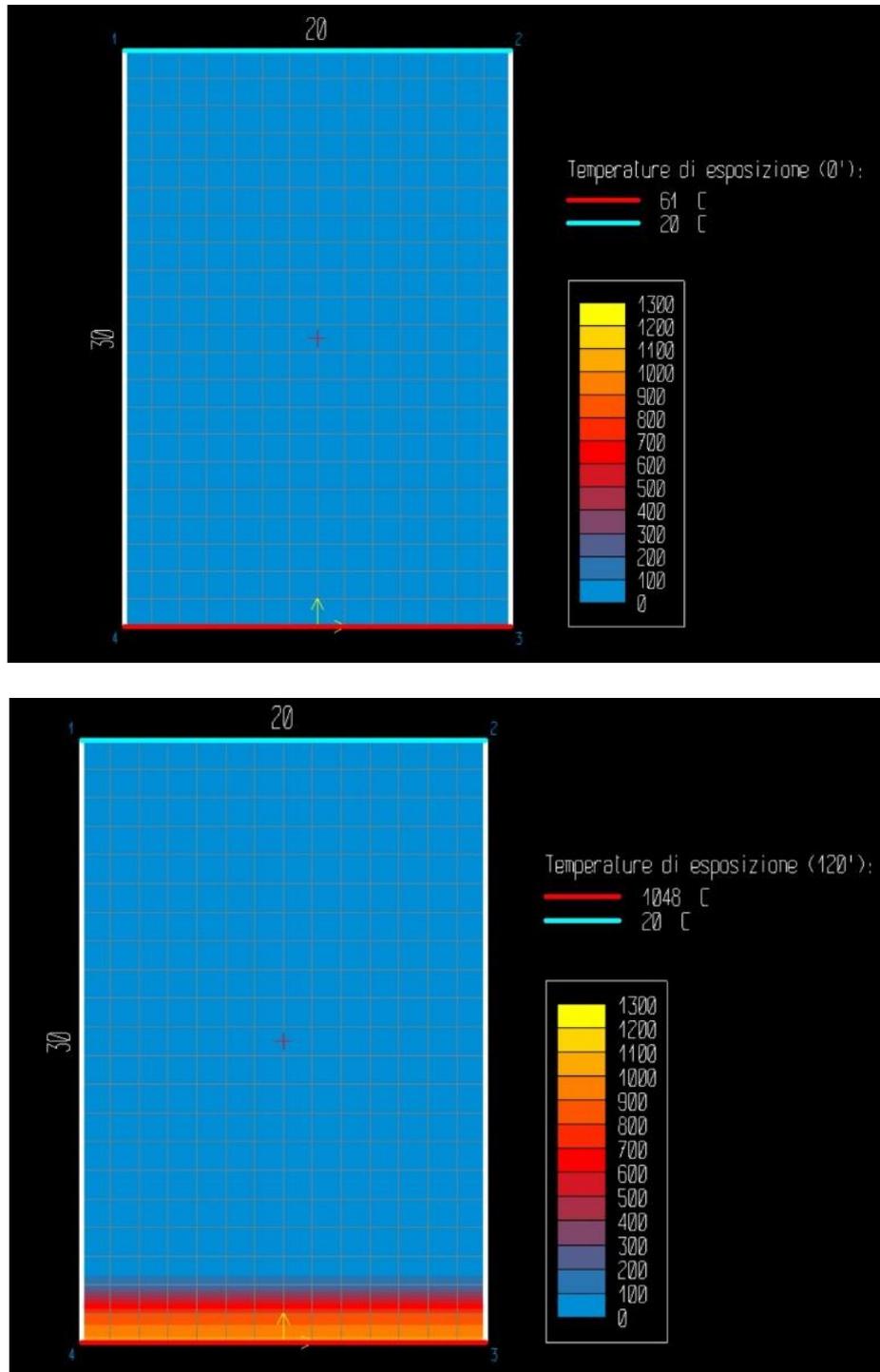


Fig. 5.26 Verifica termica trave in legno tipo

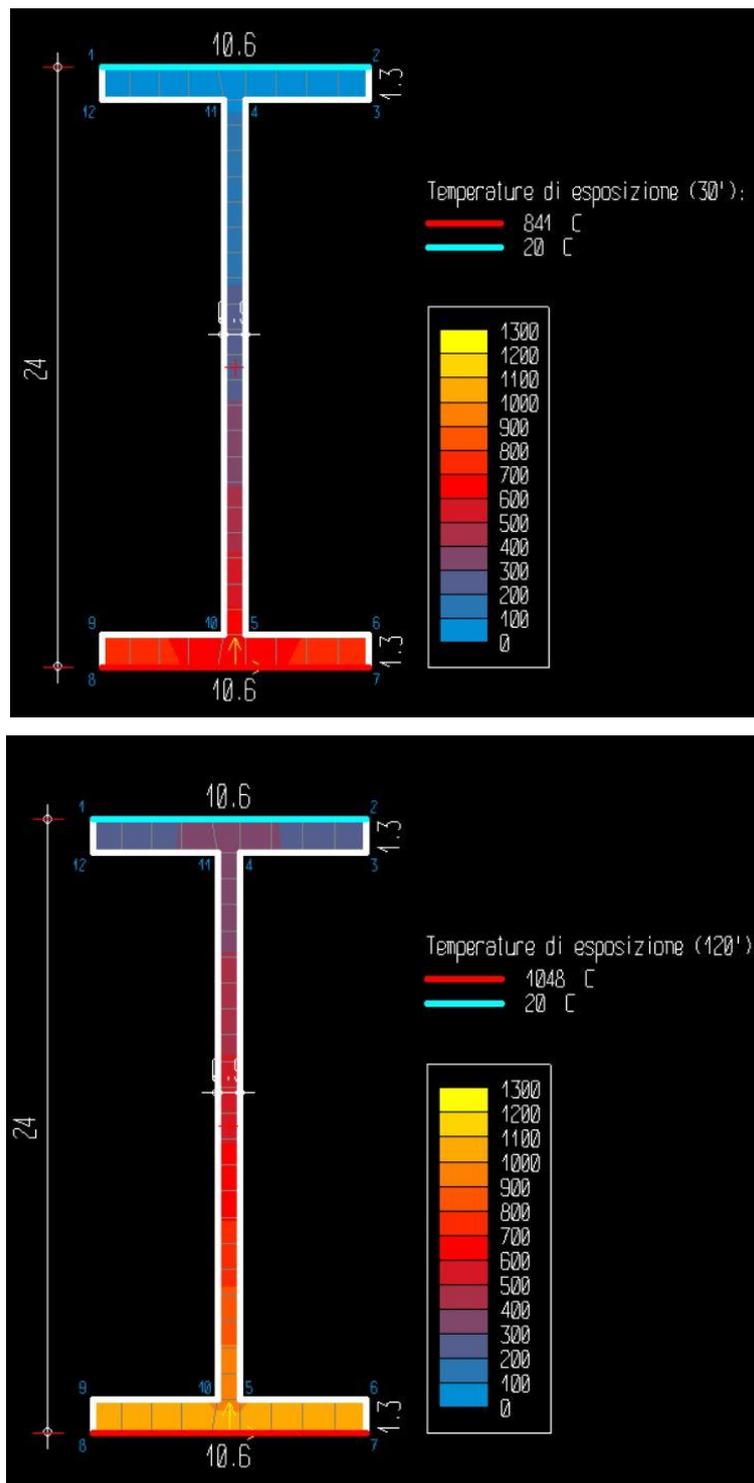


Fig. 5.27 Verifica termica trave in acciaio tipo

Si nota a primo impatto come le travi in legno presentino un comportamento migliore in termini di reazione al fuoco rispetto alle travi in acciaio, sia dal punto di vista termico sia dal punto di vista meccanico.

Sono stati analizzati anche gli elementi verticali, quali pilastri in laterizio:

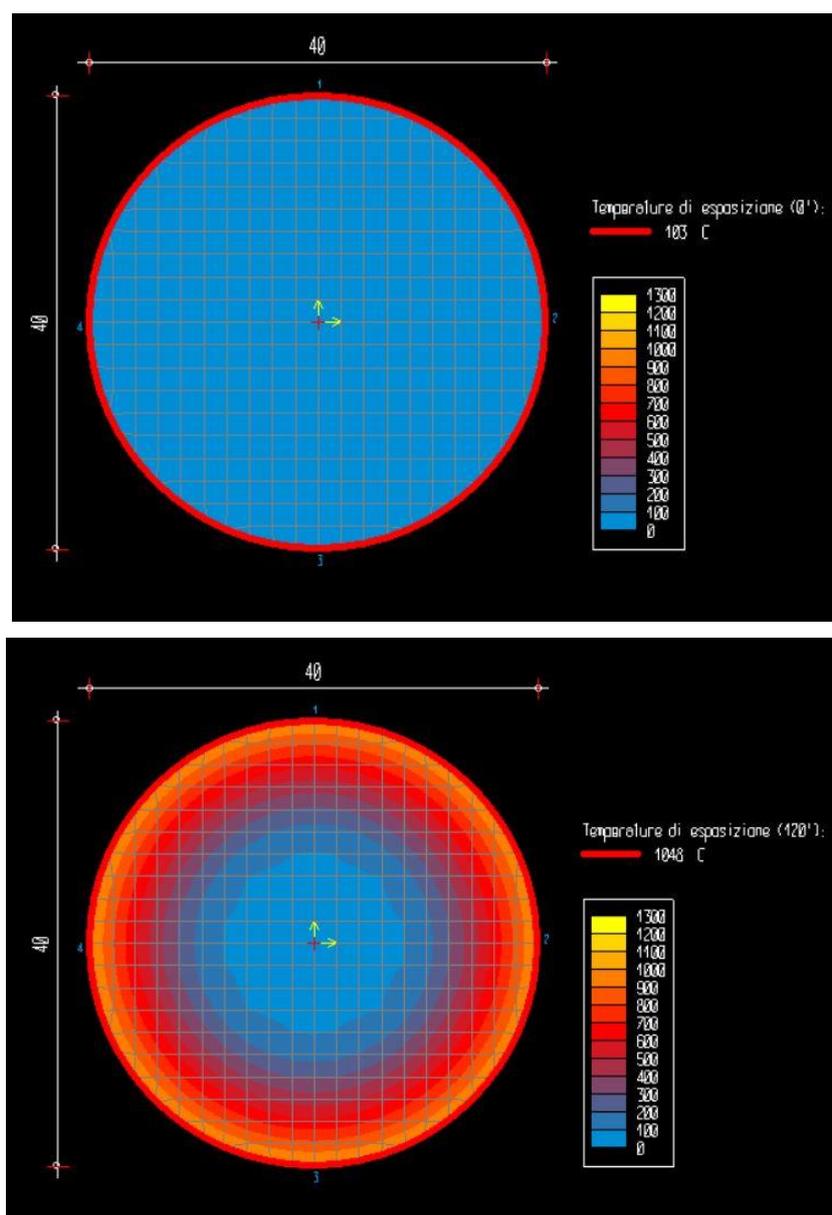


Fig. 5.28 Verifica termica pilastro in laterizio tipo

Si nota come l'elemento verticale pilastro in laterizio sia completamente investito dall'incendio, essendo un elemento circolare che si sviluppa in altezza, e presenti delle caratteristiche termiche peggiori rispetto agli elementi orizzontali in legno.

In seguito sono mostrate le verifiche meccaniche dei tre elementi tipo analizzati: trave in legno, trave in acciaio e pilastro in laterizio. In appendice sarà possibile osservare tutte le verifiche corrispondenti a ogni elemento della struttura. Le verifiche meccaniche mostrano come la trave o il pilastro resista meccanicamente in seguito alla propagazione dell'incendio, effettuando la verifica a caldo e a freddo. Si nota come le travi in legno

presentino delle caratteristiche ottimali in termini di resistenza meccanica post incendio, a differenza delle travi in acciaio e dei pilastri in laterizio, i quali non tutti risultano verificati ma solo una bassa percentuale.

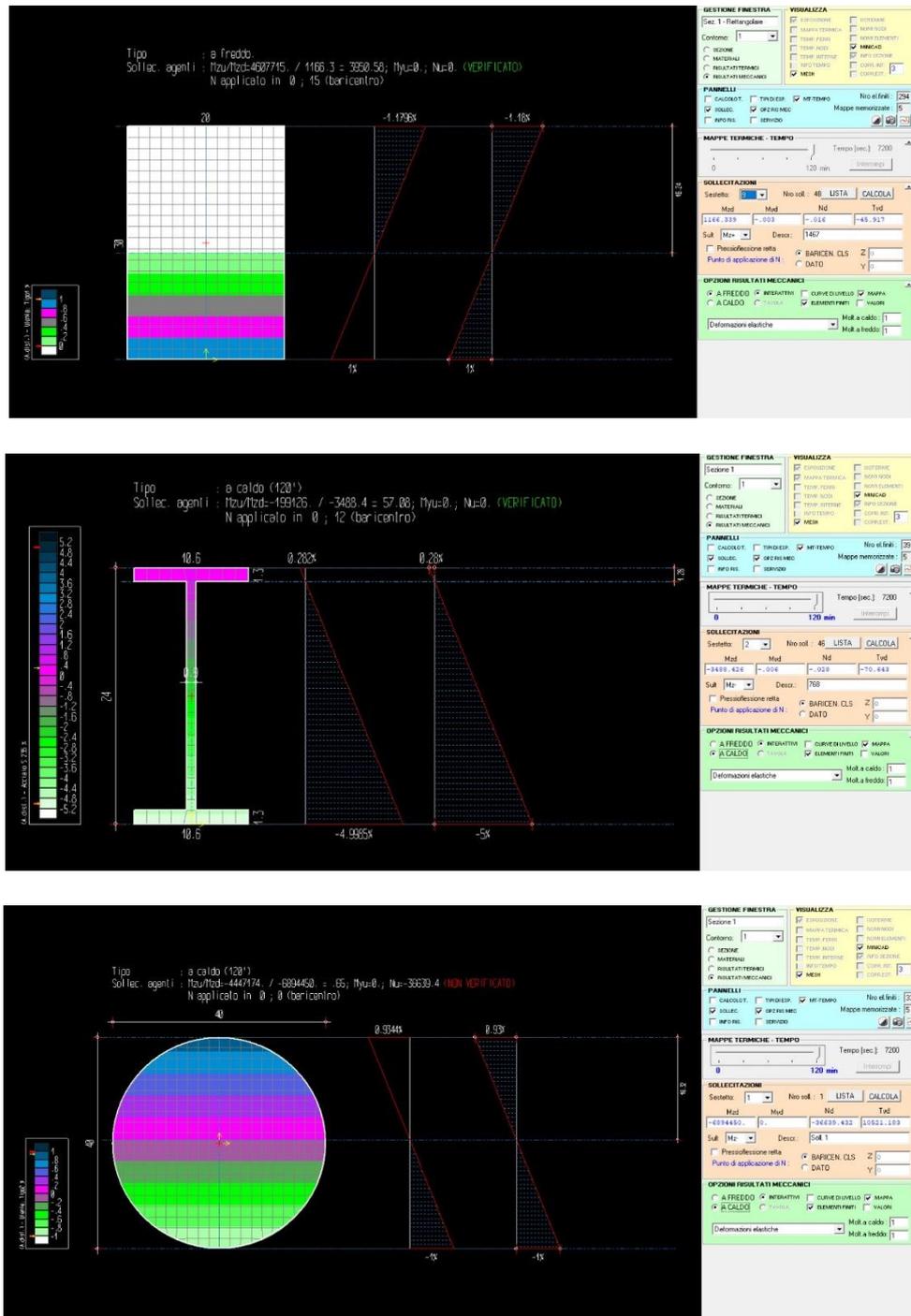


Fig. 5.29 Verifica meccanica dei tre elementi dell'edificio

5.5 Statistica dei risultati ottenuti

Attraverso le verifiche effettuate è stato possibile stilare una statistica che permettesse di comprendere quali elementi risultassero verificati o meno in termini di resistenza al sisma e all'incendio. In primo luogo sono stati verificati gli elementi orizzontali quali: travi in legno e travi in acciaio. Il programma ha permesso di visualizzare quali elementi resistessero o meno, e si è notato come le travi in legno non risultino tutte verificate in seguito all'azione sismica ma verificate in seguito all'incendio. In Tab. 5.10 sono mostrati i valori di momento torcente, momento flettente e sforzo assiale per ogni elemento orizzontale, con conseguente responso in termini di verifica.

Tab.5.10 Travi in legno verificate in seguito al sisma e all'incendio

TRAVI IN LEGNO						
Numero Asta	M _{zd} [daNcm]	M _{yd} [daNcm]	N _d [daN]	T _{yd} [daN]	VE SISMA	VE FUOCO
1437	38349.758	0.009	-0.003	-4.22	sì	sì
1440	1180.897	-0.011	0.043	-59.584	sì	sì
1442	1219.195	-0.011	-0.008	-53.996	sì	sì
1462	803.043	-0.002	-0.003	-13.717	sì	sì
1463	842.682	0.002	0.001	-18.057	sì	sì
1464	881.544	-0.004	-0.009	-22.282	sì	sì
1465	1090.06	0.009	0.011	-28.217	sì	sì
1466	1126.423	0.004	-0.02	-37.413	sì	sì
1467	1166.339	-0.003	-0.016	-45.917	sì	sì
1471	-4443.407	-0.001	0.004	-459.48	sì	sì
1472	-4606.259	0.011	-0.009	-521.124	sì	sì
1485	17358.342	-0.003	0.002	-56.169	sì	sì
1486	-889.731	0.002	0.002	-55.705	sì	sì
1487	13010.201	-0.002	-0.001	-79.503	sì	sì
1491	6181.789	-0.003	0.004	-41.593	sì	sì
1492	-2594.412	-0.001	0.003	-31.186	sì	sì
1639	25999.911	0.009	0.013	50.904	sì	sì

52	144410.289	-0.104	0.052	-1068.62	no	sì
187	264192.877	0.007	0.002	-158.532	no	sì
199	303671.51	0.009	0.03	28.561	no	sì
200	352016.188	0.001	0.019	221.354	no	sì
201	398887.499	-0.003	0.006	59.867	no	sì
210	143388.854	0.003	0.001	133.171	no	sì
221	161604.003	0.006	0.029	199.993	no	sì
226	166694.335	-0.001	0.047	-23.527	no	sì
227	124897.975	-0.003	0.027	-43.343	no	sì
448	314609.938	-0.01	0.068	-1040.57	no	sì

Applicazione della scheda CARTIS e valutazione della vulnerabilità sismica e all'incendio degli edifici pubblici nel comune di Urbino

449	312283.711	0.011	0.046	-1193.38	no	sì
450	320767.539	0.003	0.005	-1119.34	no	sì
451	330200.144	-0.015	-0.003	-1039.32	no	sì
452	343426.489	-0.013	0.024	-968.146	no	sì
453	354990.624	-0.004	0.071	-891.935	no	sì
454	273980.91	0.021	0.053	-56.721	no	sì
5971	334207.198	-0.001	0.015	-1.786	no	sì
574	-2316.911	0.012	0.062	-5.469	sì	sì
575	-2778.636	-0.011	-0.052	-6.229	sì	sì
576	-3130.958	-0.016	0.007	-7.399	sì	sì
577	-5423.165	0.011	0.003	-26.383	sì	sì
578	-5027.871	0.013	0.015	-25.375	sì	sì
582	-4578.269	-0.013	0.046	-11.33	sì	sì
880	208584.884	0.001	0.02	700.563	no	sì
881	162438.82	-0.032	0.059	940.72	no	sì
882	152968.897	0.013	0.001	893.47	no	sì
883	165962.179	-0.005	0.005	-353.231	no	sì
884	188140.979	-0.005	-0.003	-837.571	no	sì
885	334535.994	0.008	0.005	-868.924	no	sì
890	7521394.636	-0.341	0.013	7215.979	no	sì
1014	-101234.213	0.031	0.008	-2009.46	no	sì
1017	-256610.325	0	-0.001	-2242.19	no	sì
1020	149606.475	-0.093	0.047	-1681.23	no	sì
1024	131805.336	-1.295	-0.033	851.622	sì	sì
1025	23943.53	0.792	-0.014	280.905	sì	sì
1033	-329371.692	0.006	-0.01	-7165.32	no	sì
3139	-450.848	0.006	0.028	6.586	sì	sì
3140	-12165.285	0.013	0.057	42.8	sì	sì
5897	-401760.451	0.021	-0.014	-3859.03	no	sì
5970	239579.31	0.002	-0.008	-25.655	no	sì
144	71380.161	0.046	0.018	-1118.22	sì	sì
246	185.06	-0.002	0.006	9.955	sì	sì
247	177.473	-0.006	0.002	7.843	sì	sì
248	179.925	-0.004	-0.015	6.249	sì	sì
249	299.503	-0.001	-0.025	4.651	sì	sì
250	4783.119	0.002	-0.014	38.258	sì	sì
251	6955.273	-0.008	-0.026	80.524	sì	sì
252	58254.408	0.003	-0.012	95.189	sì	sì
253	104020.42	0	-0.008	12.358	sì	sì
254	121365.303	-0.005	-0.012	97.879	no	sì
1015	360745.515	3.336	0.02	1174.644	no	sì
1018	42490.025	12.014	0.027	203.836	sì	sì
1021	292993.214	2.303	-0.035	2203.41	no	sì
1026	616.028	0.038	0.04	2811.807	no	sì

Applicazione della scheda CARTIS e valutazione della vulnerabilità sismica e all'incendio degli edifici pubblici nel comune di Urbino

1027	-82554.347	-0.057	-0.03	441.597	sì	sì
1039	16486.488	-0.792	-0.033	-5142.27	no	sì
1040	-61652.868	-0.157	-0.022	-1109.62	no	sì
1301	238045.069	-0.002	0.022	-646.802	no	sì
1302	194851.274	-0.01	0.021	-446.945	no	sì
1303	187459.636	-0.002	0.042	-508.139	no	sì
1305	169333.46	0.016	-0.026	-415.699	no	sì
1306	111141.53	0	-0.053	-384.248	sì	sì
1307	43924.713	0.002	-0.077	-353.015	sì	sì
1308	75126.356	-0.015	-0.046	7.582	sì	sì
1309	160483.604	-0.002	-0.015	2.238	no	sì
1310	339804.028	0.009	-0.006	970.422	no	sì
1311	200116.449	0	-0.028	989.128	no	sì
1312	202108.425	-0.007	-0.007	994.763	no	sì
1313	204966.267	-0.058	0.004	982.043	no	sì
1314	208325.758	0.022	0.038	977.906	no	sì
1315	216199.369	-0.008	-0.009	516.141	no	sì
1317	4951235.088	0.48	-0.145	-895.392	no	sì
1187	252599.23	-1330.968	-309.601	236.179	sì	sì
1188	251214.022	2916.982	-344.788	255.937	sì	no
1269	8171.416	-114.649	28.331	39.781	sì	sì
1270	210302.234	-58.086	49.261	93.261	no	sì
1271	239813.966	-57.914	-117	108.265	no	sì
1272	309599.789	-374.664	29.216	-45.222	no	sì
1273	399550.994	345.467	225.648	228.527	no	sì
1274	437586.228	-132.38	-538.147	203.805	no	sì
1275	481813.013	330.412	-299.908	203.57	no	sì
1276	467778.085	-375.28	-769.171	-43.079	no	sì
1277	693492.396	-377.998	1261.497	-169.851	no	sì
1278	766110.021	-381.528	3296.881	-26.153	no	sì
280	495.393	0.007	0.004	10.428	sì	sì
281	495.64	0.045	0.04	8.506	sì	sì
282	446.108	-0.016	0.074	7.189	sì	sì
283	351.465	-0.012	0.047	4.736	sì	sì
284	2237.903	-0.002	0.025	19.638	sì	sì
285	3250.614	0.016	0.051	41.816	sì	sì
286	26913.048	-0.31	0.023	66.719	sì	sì
287	64520.537	0.009	0.017	15.035	sì	sì
288	75199.891	0.199	0.046	67.599	sì	sì
513	42713.973	-0.189	-0.185	-1205.5	sì	sì
1016	77716.53	-49.727	0.017	6082.124	no	sì
1019	-261820.288	0.238	0.011	2468.214	no	sì

1022	105670.274	0.193	-0.059	6978.546	no	sì
1028	-3759.013	-0.141	0.098	2763.079	no	sì
1029	-77910.342	-1.259	-0.079	529.524	sì	sì
1043	-693.897	2.071	0.025	-4979.28	no	sì
1044	-99736.683	0.049	-0.123	-893.998	no	sì
1200	29580.728	-0.49	-0.143	-117.788	sì	sì
1201	32249.922	-0.057	-0.115	-138.446	sì	sì
6032	242680.825	0.144	-0.145	-28486.9	no	sì

Tab.5.11 Statistica travi in legno

SISMA		
TRAVI IN LEGNO		%
57	sì	47.10
64	no	52.90
121		100

FUOCO		
TRAVI IN LEGNO		%
120	sì	99.2
1	no	0.8
121		100

La statistica mostra come il 52,9% di travi in legno non risultano verificate in seguito all'azione sismica, contro il 47,10%. Al contrario le travi in legno sono verificate all'incendio per il 99,2%.

In secondo luogo sono state verificate le travi in acciaio, queste sono state progettate in fase di ristrutturazione, e dal punto di vista statico sono tutte verificate. Allo stesso tempo le caratteristiche meccaniche emerse in fase di verifica post-incendio hanno dimostrato che non tutte le travi in acciaio risultano verificate (73,9%).

Tab.5.12 Travi in acciaio verificate in seguito al sisma e all'incendio

TRAVI IN ACCIAIO						
Numero Asta	M _{zd} [daNcm]	M _{yd} [daNcm]	N _d [daN]	T _{yd} [daN]	VE SISMA	VE FUOCO
735	37975.718	0	-0.141	157.816	sì	sì
768	-3488.426	-0.006	-0.028	-70.643	sì	sì
769	-51792.064	0.007	-0.13	-349.515	sì	sì
770	-74361.631	-0.005	-0.042	-1083.721	sì	sì
815	-12988.454	-0.001	-0.05	35.633	sì	sì
824	-25218.044	0.017	0.016	174.62	sì	sì
830	-29777.559	-0.008	-0.022	360.859	sì	sì

Applicazione della scheda CARTIS e valutazione della vulnerabilità sismica e all'incendio degli edifici pubblici nel comune di Urbino

834	-1044.418	0.013	0.03	-64.403	sì	sì
837	-297.353	-0.003	-0.016	-31.655	sì	sì

700	105520.347	0.001	0.057	563.051	sì	sì
701	81237.318	0.001	0.094	847.712	sì	sì
702	79154.982	-0.003	0.002	999.812	sì	sì
703	74006.202	0.001	-0.036	671.987	sì	sì
704	127734.811	0.003	-0.025	-59.495	sì	sì
706	139885.422	0.016	0.129	-569.09	sì	sì
707	243201.593	0.003	0.179	-240.217	sì	no
709	240758.785	-0.021	0.217	-339.485	sì	no
711	239790.762	0.001	0.094	143.002	sì	no
714	64598.732	-0.006	0.083	-265.957	sì	sì
779	-3096.392	-0.021	-0.168	-73.584	sì	sì
780	-57874.652	0.01	-0.243	-467.288	sì	sì
781	-69452.637	0.004	-0.081	-1196.077	sì	sì
784	14731.31	-0.008	-0.268	-55.153	sì	sì
850	-47673.949	-0.143	-0.097	-521.044	sì	sì
851	-198579.26	-0.007	0.019	-3690.271	sì	sì
852	-234422.66	0.001	0.145	-4515.752	sì	no
853	737.397	-0.018	-0.012	-135.956	sì	sì
854	1525.585	-0.31	0.366	-24.358	sì	sì
948	113348.45	0.016	-0.142	286.631	sì	si
949	225907.051	0.007	-0.164	-241.584	sì	no
950	190972.859	0.004	0.031	63.171	sì	sì
951	180325.46	-0.004	0.048	-328.904	sì	sì
952	203258.778	-0.002	-0.049	-328.904	sì	no
953	165307.661	-0.061	-0.032	160.527	sì	sì
5955	133542.672	-2.204	0.088	40.444	sì	sì
5957	253951.466	0.019	0.055	278.013	sì	no
5959	198244.295	-0.001	-0.05	-452.864	sì	sì
5960	178425.885	-0.004	-0.158	-622.123	sì	sì
5961	232538.71	-0.001	-0.007	-511.895	sì	no
5963	232324.274	0.009	-0.124	-249.64	sì	no
5964	167318.215	0.102	0.058	158.886	sì	sì
5965	152334.41	-0.02	0.043	250.515	sì	sì
5966	242206.696	0.01	0.213	326.347	sì	no
5980	275084.784	-0.002	0.266	548.026	sì	no
5968	199389.938	-0.012	0.113	637.501	sì	no
5969	115288.85	-0.003	-0.229	652.801	sì	sì

Tab.5.13 Statistica travi in acciaio

SISMA		
TRAVI IN ACCIAIO		%
46	si	100
0	no	0
46		100

FUOCO		
TRAVI IN ACCIAIO		%
34	si	73.9
12	no	26.1
46		100

Si nota come dal punto di vista di resistenza al sisma siano tutte verificate, mentre in termini di resistenza al fuoco il 73,9% è verificato e il 26,1% no. Le travi in acciaio presentano caratteristiche più scadenti delle travi in legno in termini di resistenza al fuoco, mentre in seguito all'azione del sisma sono molto più resistenti.

Considerando tutti gli elementi orizzontali, raggruppando perciò sia le travi in legno sia le travi in acciaio, si nota come il 61,7% sia verificato in seguito all'azione sismica, e il 92,8% in seguito all'incendio.

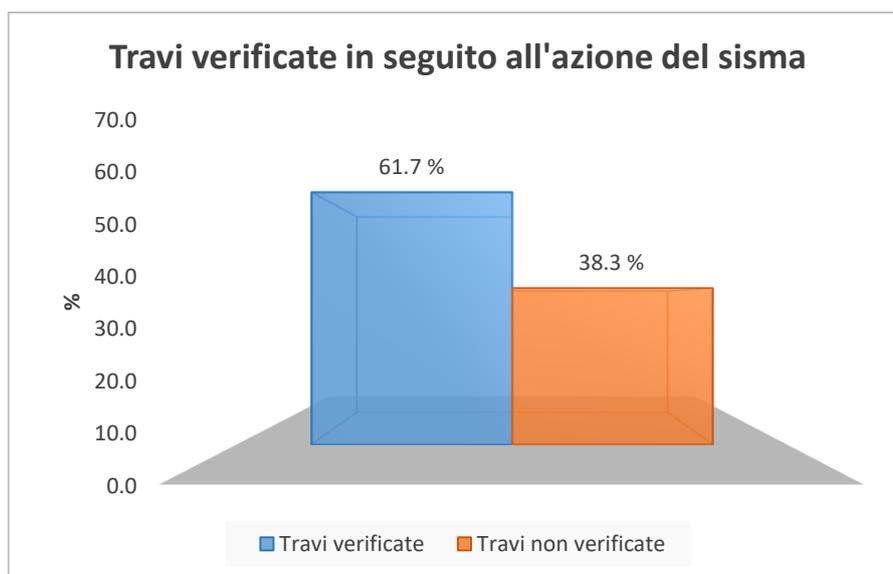


Fig. 5.30 Statistica di tutti gli elementi orizzontali verificati in seguito all'azione del sisma

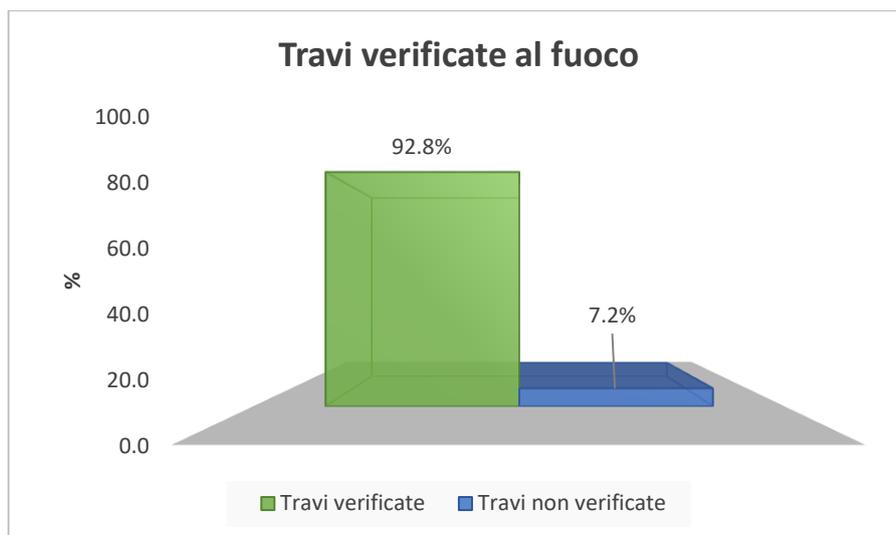


Fig. 5.31 Statistica di tutti gli elementi orizzontali verificati al fuoco

Per quanto riguarda i pilastri in laterizio, questi risultano tutti verificati in seguito all'azione sismica, ma non verificati meccanicamente al fuoco.

La statistica della muratura già presentata mostra invece che il 74.8% di maschi murari risultano verificati all'azione sismica, mentre:

- Il 7.1% non è verificato a pressoflessione nel piano (pressoflessione e taglio),
- Lo 0% non è verificato ad azione sismica,
- Il 18.2% non è verificato a pressoflessione fuori piano (causato da forze orizzontali perpendicolari alle pareti).

Come mostrato in Fig.5.32.

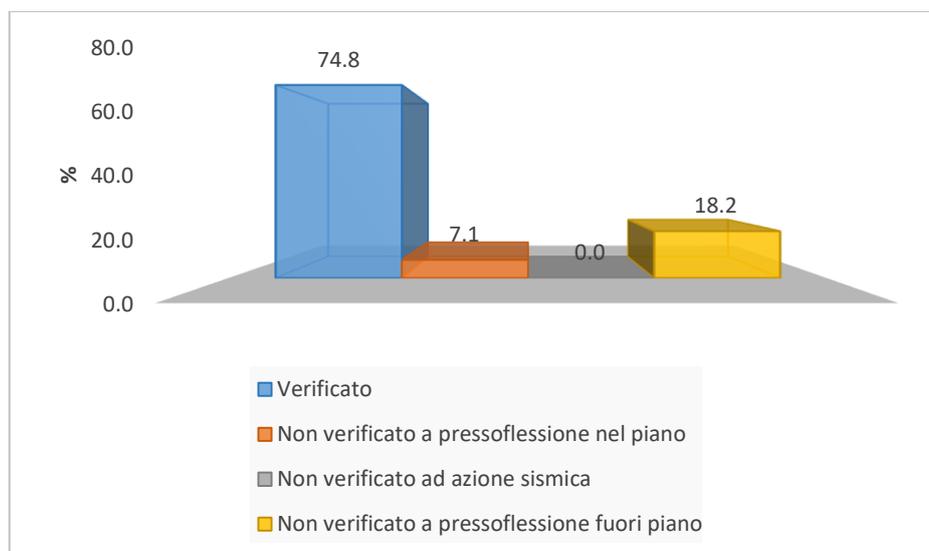


Fig. 5.32 Statistica dei maschi murari verificati

In conclusione si nota come gli elementi progettati in fase di ristrutturazione siano più stabili delle travi in legno mantenute; dal punto di vista dell'incendio invece il legno conferma il primato in termini di resistenza al fuoco rispetto all'acciaio e al laterizio, grazie alle proprietà meccaniche di cui è dotato.

**CAPITOLO 6. METODI DI
CONTEMPORANEO
MIGLIORAMENTO SISMICO E
ALL'INCENDIO DI STRUTTURE IN
MURATURA PORTANTE**

La progettazione sismica e all'incendio sono ormai divenute obbligatorie in seguito all'uscita delle NTC 2008. Con le NTC 2018 l'accuratezza verso questi ambiti è aumentata sempre di più, perciò tutti i software di calcolo strutturale sono dotati di queste funzioni di verifica. Palazzo Odasi è stato scelto come caso studio, edificio in muratura portante e patrimonio dell'UNESCO, costruzione rappresentativa di una tipologia presente nella città di Urbino. Il recupero strutturale è un ambito sempre più presente nelle opere ingegneristiche, soprattutto in seguito al terremoto del 2016 che ha provocato la distruzione di parecchi edifici del centro Italia. Gli edifici in muratura necessitano perciò di un miglioramento sia sismico, sia all'incendio. Palazzo Odasi presenta maschi murari verificati, sicuramente grazie agli interventi di ristrutturazione svolti che riguardavano iniezioni di malta e inserimento di tiranti; il tema risulta allo stesso tempo molto attuale e applicabile ad altri edifici storici della città, perciò si è deciso di approfondirlo.

Oltre all'inserimento di tiranti, alleggerimento dei solai e iniezioni di malta un efficace metodo di miglioramento sismico consiste nell'inserimento di intonaco armato.

L'applicazione dell'intonaco armato è una delle tecniche più utilizzate per consolidare e migliorare un edificio in muratura situato in zona sismica, come nel caso di Urbino (zona sismica 2). Consente la connessione e la legatura dei vari strati, nel caso in cui ve ne sia presente più di uno. Tradizionalmente, una volta rimosso l'intonaco esistente, si posa una rete elettrosaldata zincata sulle superfici delle pareti. Le reti devono essere legate in senso trasversale tramite barre che passano all'interno della muratura e a passo sistematico, devono inoltre essere piegate in corrispondenza delle maglie a rete. Ciò permette un aumento della propria resistenza a compressione e a taglio. Alternativamente alla tecnica tradizionale si può inserire una rete costituita da nuovi materiali compositi, quali fibre di vetro legate alla muratura trasversalmente tramite barre, caratterizzate dallo stesso materiale. Ciò comporta una riduzione del diametro della rete e maglie molto più piccole, dato che i materiali sono molto performanti, in più su di essi si possono applicare solo 3 centimetri di malta di calce massimo. Si nota come quest'alternativa permetta di ottenere gli stessi incrementi di resistenza degli intonaci armati tradizionali. Alternativamente un altro materiale da cui può essere composta la rete è il tessuto di carbonio, incollato però alla muratura attraverso delle resine. Sull'armatura sono sufficienti 2 cm di intonaco per avere le medesime prestazioni, inoltre le due superfici della parete saranno collegate con corde di tessuto di carbonio incollata sempre tramite resine [27].

Sviluppando il tema degli intonaci armati tradizionali, sono state individuate delle schede tecniche che potessero anche avere una buona reazione al fuoco, non andando quindi a peggiorare la condizione di resistenza all'incendio delle murature.

6.1 Intonaco armato Fibrebuild

Una prima scheda tecnica consiste in un sistema di rinforzo strutturale di Fibre Net che comprende reti, connettori e accettori preformati in GFRP, ovvero Glass Fiber Reinforced Polymer. Questi ultimi sono abbinati a malte a base di calce o cementite, così da creare intonaci armati sottili e reversibili, ma che migliorano allo stesso tempo la resistenza a taglio, flessione e compressione della muratura. Il sistema è caratterizzato da una elevata resistenza meccanica e permette traspirabilità della struttura, con altrettanta facilità di applicazione. Per quanto riguarda la modalità di posa, occorre in primo luogo rimuovere l'intonaco esistente, ed eseguire dei fori aventi 24 mm di diametro per il passaggio dei connettori, è importante che si realizzi in zone compatte della muratura. Non appena puliti i fori si procede con la bagnatura della superficie a saturazione. Si applica in seguito la rete srotolando il rotolo dall'alto e fissandola provvisoriamente con chiodi da carpenteria, così da consentire il corretto posizionamento anche in corrispondenza delle aperture.

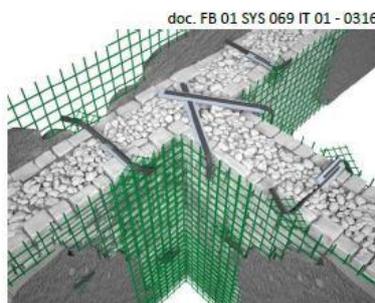


Fig. 6.1 Intonaco armato Fibrebuild

In seguito si montano gli angolari e i connettori in GFRP, con conseguente applicazione di un nuovo strato di intonaco di malta, avente spessore minimo pari a 30 mm a lato. E' infine importante che gli elementi in GFRP siano ricoperti da 1 cm di malta, così da evitare che si generino fessurazioni della malta da intonaco e che la rete sia posizionata in mezzera dello spessore di malta. In allegato la scheda tecnica Fibrebuild e in *Fig.6.2* i componenti del sistema: Rete FBMESH, angolare FBANG, connettore FBCON, malta FIBREBUILD intonaco.

Riguardo la reazione al fuoco, l'intonaco armato in esame è stato testato su provini con rete e si è dimostrato come appartenga alla classificazione A2, ottimo dal punto di vista di reazione in caso di incendio.

COMPONENTI DEL SISTEMA

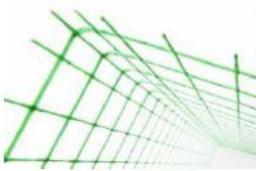
RETE FB MESH			
Rete in GFRP prodotta con tecnologia Texturusion™, le cui barre sono costituite da fibre di vetro lunghe impregnate con resina termoindurente di tipo epossidico-vinilestere. Nella formazione della rete le fibre delle due direzioni sono intrecciate ortogonalmente in modo da creare una maglia monolitica.			
Caratteristiche	Valore		Valore
Spessore medio della rete	3 mm		5 mm
Sezione nominale della singola barra della rete	10 mm ²		20 mm ²
Dimensioni della maglia	33x33 mm / 33x66 mm / 66x66 mm / 99x99 mm		
Resistenza a trazione della barra	3,5 kN		5,7 kN
Allungamento a rottura della barra	1,5 %		1,1 %
Rigidità assiale media a trazione della barra EA	230 kN		540 kN
Reazione al fuoco*	A2		
Potere calorifico	7,99 MJ/Kg	7,99 MJ/Kg	
* Valutato considerando rete FB MESH 66x66T96AR interposta in uno spessore da 30 mm di malta premiscelata FIBREBUILD NHL 8MPa classificata A1.			
ANGOLARE FBANG			
Elemento preformato in rete in GFRP piegato ad angolo retto.			
Caratteristiche	Valore		
Dimensioni dell'angolare	330x330 mm, altezza 2 m		
Sezione nominale della singola barra della rete	10 mm ²		20 mm ²
Dimensioni della maglia	33x33 mm, 66x66 mm, 99x99 mm		
Resistenza a trazione della barra	3,5 kN	5,7 kN	
Allungamento a rottura della barra	1,5 %	1,1 %	
Rigidità assiale media a trazione della barra EA	230 kN	540 kN	
CONNETTORE FB CON			
Connettore a "L" in GFRP per il collegamento della rete FB MESH alla muratura, realizzato con fibra di vetro AR pretensionata e impregnata con resina termoindurente di tipo vinilestere-epossidico.			
Caratteristiche	Valore		
Dimensioni del connettore	lato lungo: da 10 a 100 cm, lato corto: 10 cm		
Sezione del connettore	10x7 mm		
Resistenza a trazione della barra	31 kN		
Allungamento a rottura	1,7 %		
Rigidità assiale media a trazione EA	1847 kN		
MALTA FIBREBUILD INTONACO			
Malta da intonaco a base di calce o di calce-cemento, compatibile con murature di qualsiasi genere.			
Caratteristiche	Valore		
Tipo	calce / calce-cemento		
Resistenza a compressione	8 MPa / 13 MPa / 25 MPa		
Modulo elastico	< 8 GPa / < 10 GPa / < 20 GPa		

Fig. 6.2 Componenti intonaco armato Fibrebuild

6.2 Intonaco armato Weber

La seconda scelta consiste in malta strutturale con classe di resistenza M15, e a base di calce idraulica naturale. E' utilizzata spesso per la generazione di intonaci armati, in aggiunta perciò di reti in acciaio inossidabile o in fibra di vetro. E' indicato per muratura, e assieme alla rete permette la resistenza a trazione e duttilità della muratura rinforzata, inoltre la calce naturale di cui è dotato consente porosità e traspirabilità del maschio murario.

In primo luogo occorre applicare l'impasto in più passate creando uno spessore massimo di 2 cm, in seguito si passa al posizionamento di una rete metallica inossidabile o in fibre di vetro nella metà dell'intonaco. Riguardo la reazione al fuoco, l'intonaco armato appartiene alla classificazione A1, ottimo dal punto di vista di reazione in caso di incendio. In allegato è mostrata la scheda tecnica dell'intonaco strutturale Weber.

Entrambi gli intonaci armati presentano buone proprietà in ambito di miglioramento sismico e di reazione al fuoco, potrebbero perciò essere dei validi elementi di miglioramento in ristrutturazioni future.

CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi svolto è costituito da varie sezioni che, collegate l'un l'altra, hanno generato un percorso: in primo luogo è stata applicata la scheda CARTIS al comune di Urbino, città marchigiana patrimonio dell'UNESCO e situata in zona sismica 2. Ciò ha permesso di individuare le tipologie costruttive fondamentali del comune e di suddividerlo in comparti, valutando con un primo approccio la vulnerabilità sismica degli edifici in esame. Si è notato però come la scheda non potesse coinvolgere gli edifici storici, pur essendo presenti in vasta scala all'interno della città, quindi si è deciso di compilarla comunque, anche se considerata fittizia. In seguito, l'edificio rappresentativo Palazzo Odasi analizzato nella scheda di secondo livello della tipologia fittizia, è diventato il caso studio della tesi ed è stato oggetto di analisi statiche, dinamiche e di resistenza all'incendio. L'edificio è stato verificato nei primi anni 2000, periodo in cui non erano ancora entrate in vigore le NTC 2008, perciò il progetto di ristrutturazione si è svolto con l'ausilio del metodo delle tensioni ammissibili. Tramite il software *DOLMEN* aggiornato alle vigenti NTC 2018 è stato possibile svolgere nuovamente le verifiche secondo il metodo degli stati limite, tenendo conto della zona sismica in cui si trova Urbino. E' importante sottolineare che l'edificio è stato sottoposto a un intervento di ristrutturazione circa 20 anni fa, perciò le verifiche sono state condotte sulla costruzione allo stato attuale, con i relativi interventi di miglioramento progettati negli anni 2000. Tramite lo studio svolto è risultato che:

- Partendo dagli elementi orizzontali: le travi in legno che resistono all'azione sismica raggiungono solamente il 47,1%, allo stesso tempo queste sono verificate all'incendio per il 99,2%;
- Le travi in acciaio verificate in seguito all'azione sismica raggiungono il 100%, si tratta degli elementi orizzontali sostituiti negli anni 2000 in seguito alla ristrutturazione; il 73,9% sono verificate al fuoco;
- In totale gli elementi orizzontali verificati al sisma raggiungono il 61,7% mentre quelli verificati all'incendio il 92,8%;
- I pilastri in laterizio sono verificati in seguito all'azione sismica ma non lo sono all'incendio;
- La verifica dei maschi murari mostra come il 74,8% sia soddisfatta, mentre il 7,1% non sia verificato a pressoflessione nel piano e il 18,2% a pressoflessione fuori piano. Dal punto di vista sismico invece tutta la muratura presenta una buona resistenza;

- Gli spostamenti calcolati in seguito alle analisi statiche e dinamiche raggiungono al massimo i 3,06 cm.

L'edificio presenta perciò ancora qualche problema che potrebbe essere risolto con un'ulteriore ristrutturazione, quale sostituzione delle travi e rinforzo dei maschi murari non verificati. Anche se i maschi murari di Palazzo Odasi non presentano gravi problemi in termini di resistenza al sisma e all'incendio, è stato valutato un metodo contemporaneo di miglioramento di entrambe le condizioni, applicabile per gli altri palazzi storici di Urbino. Si tratta di intonaco armato, adatto a irrigidire la struttura e quindi a migliorare le prestazioni a taglio, flessione e compressione, ma che allo stesso tempo presenta un'ottima classificazione di reazione al fuoco (A1/A2), migliorando le caratteristiche della muratura nel caso di incendio.

Concludendo, negli ultimi anni il recupero strutturale è divenuto un tema estremamente attuale, a causa degli eventi sismici che hanno investito il centro Italia a partire dal 24 agosto 2016. Occorre allo stesso tempo prestare attenzione al tipo di edificio su cui si intende intervenire (spesso si tratta di edifici storici caratterizzati da vincoli), e non trascurare la progettazione all'incendio. Dunque, sviluppi futuri potrebbero riguardare:

- approfondimenti riguardo il tema di contemporaneo miglioramento sismico e all'incendio;
- ampliamento della scheda CARTIS, tramite l'inserimento di una sezione in grado di valutare anche la vulnerabilità all'incendio (oltre sismica) in forma preliminare, in quanto tale progettazione è obbligatoria nella maggior parte degli edifici, e non deve essere trascurata.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Di Pasquale G., Dolce M., Martinelli A., *Analisi della Vulnerabilità*
- [2] Polidoro B., *La valutazione della vulnerabilità sismica: il caso di Pettino (AQ)*, Università degli studi di Napoli Federico II, 2010
- [4] Chiavacci C., *Analisi del Rischio e individuazione misure di sicurezza equivalenti*, Slides del Corso di Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi
- [5] Mocco E., *Reazione e resistenza al fuoco dei materiali e delle strutture; note sulle caratteristiche di reazione al fuoco dei materiali e sulla resistenza al fuoco delle strutture edili*, 13/02/2016
- [6] Malizia M., *Termini e definizioni di prevenzione incendi, v5.1*
- [7] *Enciclopedia Treccani*, fondata da Treccani G., Gentile G., 1925
- [8] *Sicurezza all'incendio di edifici realizzati in EPS*, a cura di European Manufacturers of Expanded Polystyrene e AIPE, Associazione Italiana Polistirene Espanso
- [9] *Strategia antincendio, Resistenza al fuoco*, a cura di RTO, Testo unico di prevenzione incendi sulle regole orizzontali, 2015
- [10] GNDT, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica*, 2014
- [11] Baggio C., Bernardini A., Colozza R., Corazza L., Della Bella M., Di Pasquale G., Dolce M., Goretti A., Martinelli A., Orsini G., Papa F., Zuccaro G., *Manuale di compilazione della scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, 2014
- [12] Dolce M., Speranza E., Moroni C., *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello per la caratterizzazione tipologico-strutturale dei comparti urbani costituiti da edifici ordinari*, 2014
- [14] Cioppi R., *Analisi della città di Urbino e del suo territorio*, 2010
- [15] *Speciale Marche*, a cura del Dipartimento delle Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile – Regione Marche, 2014 DPC, INGV, Giunti Progetti Educativi S.r.l..
- [16] Storoni L., Volpe G., *Edilizia popolare & complessi residenziali della provincia di Pesaro e Urbino*, Ordine degli Architetti della provincia di Pesaro e Urbino, 2016

- [18] Felici M., Mandolini M., Vincenzi S., *Relazione tecnica-illustrativa del restauro del Palazzo Arcangeli Bonaventura Odasi*, 2001
- [19] Londei E.F. e Marchi G.V., *Relazione sulla fondazione – consolidamento statico e restauro di Palazzo Arcangeli-Odasi*, 1998
- [20] Londei E.F. e Marchi G.V., *Relazione tecnica – consolidamento statico e restauro di Palazzo Arcangeli-Odasi, esecutivo strutturale*, 1998
- [21] Mandolini M., *Aggiornamento per il rilascio CPI progetto approvato prat. N° 10191 del 07/06/2002 relativo al solo piano interrato e seminterrato – Relazione tecnica*, 2008
- [22] *NTC 2008*, a cura del ministro delle infrastrutture, di concerto con il ministro dell'interno e con il capo del dipartimento della protezione civile
- [23] Fantilli A., *Costruzioni in c.a. - Metodi di analisi (slides)*
- [24] Cimellaro G., *Discretizzazione MDOF, Analisi Modale, Matrice di massa, smorzamento, rigidità (slides)*
- [25] Ponso F., Auletta G., *Sicurezza contro l'incendio degli edifici (slides)*

SITOGRAFIA

- [3] <http://www.protezionecivile.gov.it>
- [13] <http://www.ifg.uniurb.it>
- [17] <http://www.turismo.pesarourbino.it>
- [26] <http://www.azichem.it/news/reazione-e-resistenza-al-fuoco-dei-materiali-e-delle-strutture/208/>
- [27] <https://www.ediltecnico.it/52153/miglioramento-sismico-patrimonio-edilizio-tecniche-intervento/>

**APPENDICE A. Schede CARTIS di
primo e secondo livello compilate per il
comune di Urbino**

APPENDICE B. Piante e Sezioni di Palazzo Bonaventura-Odasi

**APPENDICE C. Verifiche termiche e
meccaniche all'incendio di ogni elemento
orizzontale e verticale di Palazzo
Bonaventura – Odasi**

APPENDICE D. Schede tecniche degli intonaci armati proposti