



**Onna prima e dopo  
il terremoto del 6 Aprile 2009  
Parte I – Analisi del danno**



GIUGNO 2009

## **Avvertenze**

---

L'immagine di Onna in copertina e altre inserite nel presente Rapporto sono state gentilmente fornite a titolo gratuito da Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma.

Le fotografie dei luoghi e delle persone prima del terremoto sono state gentilmente concesse dagli abitanti di Onna tramite l'Associazione ONNA Onlus.

I giudizi riportati nel Rapporto sulle cause dei danni osservati vanno considerati nel quadro generale dell'interpretazione del danno e non riferiti specificamente al singolo caso di volta in volta analizzato.

Il presente Rapporto è disponibile anche all'indirizzo <http://www.provincia.perugia.it/guidetematiche/sicurezza/prevenzione/controllocostruzioni/pubblicazioni>

**Onna prima e dopo  
il terremoto del 6 Aprile 2009  
Parte I – Analisi del danno**

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI  
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE  
Via Vitorchiano 4, Roma  
[www.protezionecivile.it](http://www.protezionecivile.it)

Giugno 2009





L'osservazione dei danni alle costruzioni e alle infrastrutture spesso evidenzia differenze sostanziali anche a piccole distanze oppure crolli e danni notevoli anche a grandi distanze dall'epicentro. Esempi di questo tipo si riscontrano dopo il terremoto del 6 aprile 2009 all'interno della città dell'Aquila oppure in alcuni comuni anche distanti, come a S. Pio delle Camere, nella frazione di Castelnuovo. Sicuramente la qualità delle costruzioni può influire sulle differenze del danno, ma spesso le cause vanno ricercate in una differente pericolosità sismica locale, determinata da effetti di amplificazione del moto sismico o da instabilità del suolo. Tutto ciò è oggetto degli studi di microzonazione sismica, attraverso i quali è possibile individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette a instabilità, quali frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno.

Il presente Rapporto si inquadra nell'ambito delle attività di microzonazione sismica di Onna, una frazione della città dell'Aquila ed ha per oggetto l'analisi del danno subito dall'abitato.

Le attività che sono state necessario per fornire un primo contributo conoscitivo a questo argomento sono state a grandi linee le seguenti:

- analisi della basi cartografiche esistenti;
- rilievo sul campo e compilazione di una scheda sintetica;
- restituzione cartografica;
- studio della sismicità e dello sviluppo urbanistico dell'edificato;
- analisi ed interpretazione del danno.

Per quanto attiene questo ultimo punto, il grave livello di danneggiamento ha comportato la necessità di provare a darne una interpretazione, basata sull'osservazione diretta e sull'esperienza dei rilevatori. I giudizi riportati nel Rapporto, quindi, vanno considerati nel quadro generale dell'interpretazione del danno e non riferiti specificamente al singolo caso di volta in volta analizzato.

Lo studio ha richiesto la collaborazione di esperti afferenti a molti settori disciplinari. L'elenco di quanti, secondo la loro specifica competenza, hanno collaborato è riportato nelle ultime pagine del Rapporto.



---

# Indice

Premessa.....	iii
Indice delle figure.....	vii
Indice delle tabelle .....	xi
1. Introduzione.....	1-1
1.1 La microzonazione sismica.....	1-1
1.2 Organizzazione del Rapporto.....	1-3
1.3 Sismicità di Onna.....	1-3
1.4 Inquadramento sismotettonico dell'area .....	1-8
1.5 Analisi storico-urbanistica .....	1-12
2. Analisi del danno .....	2-1
2.1 Introduzione .....	2-1
2.2 Informazioni di base .....	2-1
2.3 La scheda di rilevamento .....	2-2
2.4 Le basi documentali e cartografiche ed il sistema informativo territoriale.....	2-4
2.5 Analisi dettagliata delle tipologie costruttive, della vulnerabilità e del danno .....	2-5
2.6 Valutazione dell'intensità macrosismica.....	2-18
2.7 Elaborazioni statistiche dei dati del rilievo .....	2-25
2.8 Analisi delle direzioni dei meccanismi di collasso .....	2-26
2.9 Proprietà chimico-fisiche delle malte .....	2-27
2.10 Conclusioni .....	2-27
3. Le basi cartografiche ed il sistema informativo territoriale .....	3-1
Appendice A: Rilievo delle tipologie costruttive, della vulnerabilità e del danno.....	A-1
Appendice B: Analisi delle direzioni dei meccanismi di collasso .....	B-1
Appendice C: Tabelle di analisi della qualità muraria .....	C-1
Appendice D: Schede compilate .....	D-1
Bibliografia.....	E-1
Gruppo di lavoro .....	F-1



---

# Indice delle figure

Figura 1-1	Microzonazione sismica di San Giuliano di Puglia (CB) .....	1-1
Figura 1-2	La faglia del terremoto di Izmit (Turchia) taglia e disloca una strada.....	1-2
Figura 1-3	Distribuzione degli epicentri secondo CPTI08aq .....	1-5
Figura 1.4a	Schema delle faglie attive primarie dell'Appennino aquilano.....	1-10
Figura 1-4b	Distribuzione delle intensità macrosismiche (scala MCS) valutate dal Quick Earthquake Survey Team per il terremoto dell'Aprile 2009.....	1-11
Figura 1-5	Caratteri insediativi di Onna .....	1-12
Figura 1-6	Estratto della mappa catastale.....	1-13
Figura 1-7	Ipotesi di sviluppo urbano.....	1-13
Figura 2-1	Classi di vulnerabilità secondo EMS-98.....	2-4
Figura 2-2a	Categorie di danneggiamento per gli edifici in muratura secondo EMS-98.....	2-4
Figura 2-2b	Categorie di danneggiamento per gli edifici in calcestruzzo armato secondo EMS-98 ..	2-4
Figura 2-3	Uno scorcio di Onna prima del terremoto .....	2-5
Figura 2-4	Alcune viste aeree tratte dal sito <a href="http://maps.live.com">http://maps.live.com</a> (immagini Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma) .....	2-5
Figura 2-5	Esempio di perimetrazione degli edifici .....	2-5
Figura 2-6	Porzione del centro abitato di Onna con la suddivisione di ogni aggregato in unità strutturali (U.S.).....	2-7
Figura 2-7	Punteggi per la determinazione dell'indice di qualità muraria IQM .....	2-7
Figura 2-8	Muratura più diffusa ad Onna: muratura in pietrame a sacco.....	2-8
Figura 2-9	Malta di colore marrone – rosso .....	2-10
Figura 2-10	Malta giallastra.....	2-10
Figura 2-11	Malta di colore grigio.....	2-10
Figura 2-12	Solaio di ferro e laterizio con tavelle .....	2-11
Figura 2-13	Solaio di acciaio con voltine in laterizio.....	2-11
Figura 2-14	Volte in serie .....	2-11
Figura 2-15	Copertura in legno ad orditura semplice con cordolo.....	2-11
Figura 2-16	Copertura in legno a doppia orditura con cordolo .....	2-11

Figura 2-17	Dettaglio dell'ammorsamento fra trave in legno e cordolo in c.a. ....	2-11
Figura 2-18	Ammorsamento fra un travetto ed il cordolo in c.a: interruzione di sezione .....	2-13
Figura 2-19	Angolo di cordolo in legno .....	2-13
Figura 2-20	Dettaglio della chiodatura d'angolo di un cordolo in legno spezzato .....	2-13
Figura 2-21	"Anima" verticale in legno emergente da un pannello murario crollato .....	2-13
Figura 2-22	Catena in legno con capochiave in ferro .....	2-13
Figura 2-23	Piatto metallico di connessione fra legno e capochiave .....	2-13
Figura 2-24	Angolata in blocchi squadrati annegata nella muratura di scarsa qualità .....	2-13
Figura 2-25	Aggregato 4902686. Copertura realizzata nel 2007. Sono cerchiare in rosso le interruzioni del cordolo dovute agli innesti delle travi in legno .....	2-14
Figura 2-26	Aggregato 4902683. Evidenziate in rosso le membrature del telaio in c.a. arretrato rispetto al filo della muratura .....	2-15
Figura 2-27	Aggregato 4903565. Ribaltamento di parete con intonaco armato in esecuzione.....	2-15
Figura 2-28	Aggregato 4902683. Intonaco armato su muratura di qualità non adeguata .....	2-15
Figura 2-29	Intonaco armato eseguito solo parzialmente. ....	2-15
Figura 2-30	Aggregato 4902634 (chiesa). Dettaglio di intervento con perforazioni armate sul campanile .....	2-15
Figura 2-31	Edificio 4902687 con ultimo livello sopraelevato e due piani inferiori in pietrame consolidati con intonaco armato. ....	2-15
Figura 2-32	Edificio 4902644. Piano terra in pietrame è crollato trascinandosi dietro, come blocco rigido, il primo piano in blocchetti .....	2-16
Figura 2-33	Edificio 4903444, prima e dopo il sisma. Edificio nuovo in laterizio affiancato ad un edificio esistente in blocchi e pietrame con sopraelevazione.....	2-16
Figura 2-34	Esempi di meccanismi di collasso in assenza di vincolo fra la copertura e le pareti: ribaltamento semplice e ribaltamento con cuneo di spina .....	2-17
Figura 2-35	Esempi di meccanismi di collasso in presenza di cordolo di copertura: presso-flessione verticale e ribaltamento con cuneo di spina .....	2-17
Figura 2-36	Corrispondenza tra percentuali di edifici e corrispondenti categorie in EMS-98 .....	2-19
Figura 2-37a	Distribuzione spaziale del numero di piani .....	2-20
Figura 2-37b	Distribuzione spaziale della tipologia di elementi orizzontali prevalenti .....	2-21
Figura 2-37c	Distribuzione spaziale della tipologia di elementi verticali prevalenti .....	2-22
Figura 2-37d	Distribuzione spaziale della classe di vulnerabilità.....	2-23
Figura 2-38	Distribuzione spaziale dei livelli di danno .....	2-24
Figura 2-39	Distribuzione del danno agli edifici in classe A e matrici di probabilità di danno .....	2-25

Figura 2-40	Distribuzione del danno agli edifici in classe B e matrici di probabilità di danno.....	2-25
Figura 2-41	Distribuzione percentuale dell'area di sedime.....	2-25
Figura 2-42	Distribuzione percentuale del volume dei singoli edifici .....	2-25
Figura 2-43	Distribuzione percentuale del numero di piani .....	2-25
Figura 2-44	Direzione e verso dei meccanismi di collasso individuati .....	2-28
Figura 3-1	Mappa sul GIS con riportate le geometrie create per il Progetto Onna (edifici, aggregati, punti foto) .....	3-2
Figura 3-2	Sistema Informativo Geografico per il Progetto Onna .....	3-3
Figura 3-3	Sistema Informativo Geografico - RICERCA FOTO per visualizzare la ..documentazione fotografica per aggregato direttamente in mappa .....	3-4
Figura 3-4	Sistema Informativo Geografico - RICERCA FOTO per visualizzare la documentazione fotografica per edificio direttamente in mappa.....	3-4
Figura 3-5	Sistema Informativo Geografico - RICERCA EDIFICIO per ricercare e visualizzare le schede di rilievo del direttamente in mappa .....	3-4





---

# Indice delle tabelle

Tabella1-1	Catalogo di sito di Onna .....	1-6
Tabella 2-1	Valori di picco di alcune registrazioni accelerometriche dell'evento principale .....	2-1
Tabella 2-2	Numero di edifici del campione per classe di vulnerabilità e per livello di danno.....	2-19
Tabella 2-3	Distribuzione percentuale del danno per classe di vulnerabilità .....	2-19
Tabella 2-4	Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al primo livello ed orizzontali al primo orizzontamento .....	2-26
Tabella 2-5	Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al secondo livello ed orizzontali al secondo orizzontamento.....	2-26
Tabella 2-6	Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al terzo livello ed orizzontali al terzo orizzontamento.....	2-26
Tabella 2-7	Numero U.S. per tipologia di danno e classi di vulnerabilità .....	2-26
Tabella 2-8	Numero U.S. per tipologia di danno e livello di danno .....	2-26
Tabella 2-9	Composizione chimica di alcuni campioni di malta (abbondanza, l'errore di misura è valutato nel $\pm 20\%$ relativo) .....	2-27



### 1.1 La microzonazione sismica

L'osservazione dei danni alle costruzioni e alle infrastrutture spesso evidenzia differenze sostanziali anche a piccole distanze oppure crolli e danni notevoli anche a grandi distanze dall'epicentro. Esempi di questo tipo si riscontrano dopo il terremoto del 6 aprile 2009 all'interno della città dell'Aquila oppure in alcuni comuni anche distanti, come a S. Pio delle Camere, nella frazione di Castelnuovo. Sicuramente la qualità delle costruzioni può influire sulle differenze del danno, ma spesso le cause vanno ricercate in una differente pericolosità sismica locale, determinata da effetti di amplificazione del moto sismico o da instabilità del suolo. Tutto ciò è oggetto degli studi di microzonazione sismica, attraverso i quali è possibile individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette a instabilità, quali frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno.

Nella Fig. 1-1 è riportata come esempio la microzonazione sismica di San Giuliano di Puglia (CB). L'area rossa è una zona in cui si prevedono amplificazioni moto elevate del moto del suolo, le amplificazioni sono invece meno elevate nelle zone marroni. Le zone rosa sono stabili con amplificazione scarsa o nulla, mentre le zone verdi e gialle sono zone di instabilità per fenomeni franosi che si innescano durante il terremoto.

Le problematiche trattate dagli studi di microzonazione sismica hanno avuto un forte sviluppo a livello scientifico negli ultimi 40 anni, anche se la loro importanza era emersa già in epoca passata. E' da tempo noto che le condizioni locali dei terreni di fondazione condizionano in modo importante gli effetti del terremoto. Già un secolo fa i criteri informativi delle Norme Tecniche approvate con regio decreto 18 aprile 1909, n. 193, a seguito del disastroso terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908, riportavano il divieto di nuove costruzioni e ricostruzioni "su terreni posti sopra e presso fratture, franosi o atti comunque a scoscendere, od a comunicare ai fabbricati vibrazioni e sollecitazioni

tumultuarie per differente costituzione geologica o diversa resistenza delle singole parti di essi".

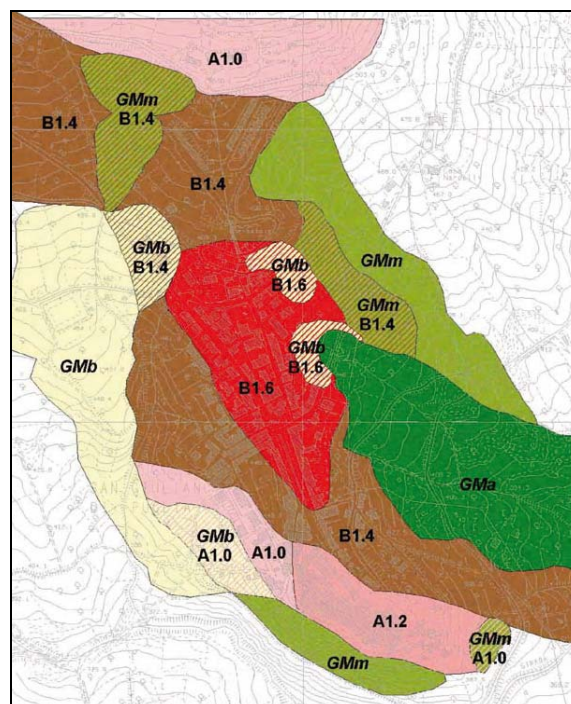


Figura 1-1: Microzonazione sismica di San Giuliano di Puglia (CB)

In uno studio condotto nel 1969 da alcuni studiosi americani in occasione del terremoto di S. Francisco del 1957, emersero risultati che indicavano con evidenza come nell'ambito della stessa città, a poche centinaia di metri di distanza, lo stesso terremoto provocasse scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle caratteristiche dei terreni più soffici presenti negli strati più superficiali. Da allora gli studi su molti terremoti (es. Città del Messico, Messico 1986; Kobe, Giappone 1992; Izmit, Turchia 1999, Fig. 1-2; San Giuliano di Puglia, Italia 2002) hanno mostrato con sempre maggiore evidenza come le caratteristiche locali del territorio possano alterare in maniera evidente l'azione sismica.

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l'emergenza e per la ricostruzione post sisma.



Figura 1-2: La faglia del terremoto di Izmit (Turchia) taglia e disloca una strada

Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di microzonazione sismica sono condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini, o prevedono l'uso ai fini di protezione civile.

Gli studi di microzonazione sismica sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti
- definire gli interventi ammissibili in una data area
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento
- stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate
- definire priorità di intervento.

Nella pianificazione d'emergenza sia di livello comunale che provinciale, gli studi di microzonazione sismica consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza ed in generale delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili;
- individuare i tratti "critici" delle infrastrutture viarie e di servizio e le opere rilevanti, in caso di collasso, per le quali potrebbero essere necessarie specifiche valutazioni di sicurezza.

Nella fase della ricostruzione la microzonazione sismica contribuisce a:

- scegliere le aree per le abitazioni temporanee
- fornisce elementi ai tecnici e amministratori, sull'opportunità di ricostruire gli edifici non agibili
- contribuisce a scegliere nuove aree edificabili.

Nella progettazione di opere nuove o di interventi su opere esistenti, gli studi di microzonazione sismica evidenziano l'importanza di fenomeni quali le possibili amplificazioni dello scuotimento legate alle caratteristiche litostatiche e morfologiche dell'area e dei fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma. Gli studi di microzonazione sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in dipendenza del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse.

La realizzazione di uno studio di microzonazione sismica è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenziati in funzione del livello di approfondimento. Al momento di decidere l'esecuzione e il livello dello studio, occorre tener presente l'utilità che da esso può derivare, in modo da compararla con i costi da affrontare. Il miglioramento della conoscenza prodotto dagli studi di microzonazione sismica può contribuire concretamente, insieme a studi di vulnerabilità ed esposizione, all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di microzonazione sismica possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3:

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione sismica, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di microzonazione sismica
- il livello 3 restituisce una carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” approvati recentemente dal DPC e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (Gruppo di lavoro microzonazione sismica - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica; 3 vol. e 1 DVD).

Per la ricostruzione in Abruzzo, basandosi sui suddetti indirizzi, si prevede di realizzare una microzonazione sismica di livello 3, per i Comuni che hanno subito un'intensità macrosismica di almeno VII MCS, mentre per i Comuni con VI MCS si realizzerà una microzonazione sismica di livello 2.

L'operazione vede il coinvolgimento di circa 150 ricercatori e tecnici di 8 Università italiane (L'Aquila, Chieti-Pescara, Genova, Politecnico Torino, Firenze, Basilicata, Roma1, Siena), di 7 istituti di ricerca (CNR, INGV, AGI, RELUIS, ISPRA, ENEA, OGS), di 4 Regioni, una Provincia e una Provincia autonoma (Lazio, Emilia-Romagna, Toscana, Umbria, Provincia di Perugia, Provincia di Trento), dell'Ordine dei geologi abruzzesi. Il coordinamento del gruppo di lavoro (Gruppo di lavoro MS\_AQ) è affidato a DPC e Regione Abruzzo.

I lavori saranno coordinati in task tematici:

- Task 1: Reperimento, archiviazione e restituzione informatica dati pregressi
- Task 2: Definizione del modello geologico-tecnico del sottosuolo e fenomeni cosismici
- Task 3: Caratterizzazione geotecnica dei terreni
- Task 4: Caratterizzazione geofisica dei terreni
- Task 5: Analisi strumentali del main-shock, degli aftershock e dei micro-tremori
- Task 6: Determinazione del terremoto di riferimento per le simulazioni numeriche
- Task 7: Simulazioni numeriche
- Task 8: Analisi del danno
- Task 9: Raccordo con Pianificazione Urbanistica e Norme Tecniche Costruzioni
- Task 10: Produzione di report, cartografie e diffusione dati.

La microzonazione sismica è il primo passo essenziale per una corretta ricostruzione, quindi anche i tempi di realizzazione devono essere coerenti e commisurati alle difficoltà dei cittadini, DPC ha definito la chiusura del progetto non oltre settembre 2009.

Il presente Rapporto si inquadra nell'ambito delle attività del Task 8 (analisi del danno) per il sito di Onna. A tal fine sono state svolte le attività brevemente elencate nel successivo § 1.2.

## **1.2 Organizzazione del Rapporto**

Nel precedente paragrafo del presente Capitolo è stata anteposta una estesa introduzione sul significato e l'importanza della microzonazione sismica, nel cui ambito il presente studio si inquadra.

Nel § 1.3 si riporta una sintesi della sismicità da dati storici, come si può ricavare da studi presenti in letteratura o direttamente dalle fonti storiche.

Nel § 1.4 si riportano alcune note sommarie sull'assetto sismotettonico dell'area, funzionali alla successiva analisi del danneggiamento.

Nel § 1.5 si riportano alcune note storico-urbanistiche ricavate dallo studio del centro abitato.

Il Capitolo 2, con l'Appendice A ad esso collegata, è dedicato al resoconto dell'analisi del quadro di danneggiamento ed al modello di danneggiamento che con esso è stato ricavato.

Il Capitolo 3 riassume le caratteristiche degli strumenti informativi territoriali che sono stati messi a punto per facilitare la consultazione e l'analisi dei dati ricavati con lo studio.

## **1.3 Sismicità di Onna**

### **Premessa**

Sono state condotte indagini di sismologia storica finalizzate alla definizione su base macrosismica della sismicità del centro abitato di Onna (Comune de L'Aquila) e possibilmente alla raccolta di dati ed informazioni sulla relativa risposta di sito in occasione dei principali terremoti storici. Allo scopo è stato costruito un apposito catalogo di sito costituito dai principali risentimenti sismici prodotti dai terremoti contenuti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Gruppo di Lavoro CPTI; versione parziale “CPTI08aq” dell'aprile 2009; in seguito CPTI08aq) e nel relativo database macrosismico (Gruppo di Lavoro DBMI, versione parziale

“DBMI08aq” dell’aprile 2009; in seguito DBMI08aq). CPTI08aq rappresenta il catalogo sismico più recente ed aggiornato per gran parte dell’Italia centrale ed è stato messo a disposizione in via provvisoria per consentire di utilizzare dati aggiornati per le analisi relative ai terremoti dell’Aquilano.

Da ricordare che la disponibilità di un catalogo di sito costituito da risentimenti sismici realmente osservati riveste una notevole importanza, in quanto consente di effettuare stime attendibili di sismicità e pericolosità in termini di intensità macrosismica con metodi indipendenti dagli usuali. I cataloghi di sito, infatti, permettono di evitare alcuni fra i passaggi più critici della catena che solitamente porta alle stime di pericolosità, quali la zonazione sismogenetica, l’assunzione di una relazione di ricorrenza e soprattutto l’uso di leggi di attenuazione per riportare al sito gli effetti verificatisi alla sorgente.

In generale, il settore di Appennino centrale che interessa la regione Abruzzo è caratterizzato dalla presenza di tre importanti aree sismogenetiche rappresentate dall’Aquilano (media ed alta valle del fiume Aterno) e dalle zone del Fucino e della Maiella, in ognuna delle quali ha avuto origine un terremoto di dimensioni molto rilevanti. Ciò risulta evidente in Fig. 1-33, in cui è riportata per un largo settore di Italia centrale la distribuzione degli epicentri dei terremoti avvenuti nell’ultimo millennio circa secondo CPTI08aq. Più in particolare, dalla figura si può notare che:

- l’area dell’Aquilano, in cui ricade il centro abitato di Onna, è caratterizzata dalla presenza del grande terremoto del 2 febbraio 1703 ( $I_0=X$  grado MCS e  $M_w=6.72$ ), dei forti terremoti ( $M_w$  compresa tra 5.81 e 6.60) del 1461 e del 1762 e da numerosi eventi di magnitudo più modesta, tutti scosse principali di sequenze sismiche più o meno importanti; a questi bisogna aggiungere il recente terremoto del 6 aprile 2009 (non presente in figura) con dimensioni ed origine simili a quelle del terremoto del 1461;
- l’area del Fucino è caratterizzata dalla presenza del grande terremoto del 13 gennaio 1915 ( $I_0=X$  MCS e  $M_w=7.00$ ) e di pochi altri eventi di magnitudo più modesta; da precisare, a questo proposito, che gran parte degli epicentri pre-

senti nell’area (Fig. 1-3) rappresentano repliche del terremoto del 1915;

- l’area della Maiella è caratterizzata dalla presenza del grande terremoto del 3 novembre 1706 ( $I_0=X-XI$  MCS e  $M_w=6.83$ ), del forte terremoto del 1933 ( $I_0=IX$  MCS e  $M_w=5.85$ ) e da altri quattro eventi di magnitudo più modesta, tutti scosse principali.

Da quanto sopra appare evidente che l’area dell’Aquilano, in cui ricade Onna, risulta caratterizzata, oltre che dalla presenza di un grande terremoto, anche da una rilevante frequenza di comparsa, sia per forti terremoti ( $M_w$  compresa tra 5.81 e 6.60), che per terremoti di magnitudo più modesta. Da ricordare, infine, che alla sismicità di Onna contribuiscono sia terremoti di origine “locale” o “vicina”, con epicentro nell’Aquilano stesso, sia terremoti di origine “esterna” o “lontana”, con epicentro nei limitrofi settori dell’Appennino centrale.

### **Catalogo di sito di Onna**

Il catalogo di sito di Onna è stato limitato ai terremoti avvenuti negli ultimi mille anni circa e risentiti nel centro abitato con intensità di rilievo [ $I_s > VI$  della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS-1930)]; la soglia temporale è collegata al fatto che prima dell’anno 1000 i terremoti sono generalmente caratterizzati da parametri epicentrali molto incerti a causa di informazioni molto scarse, la soglia di intensità alla considerazione che i risentimenti  $\leq VI$  grado MCS risultano poco significativi, in quanto corrispondenti a danni agli edifici leggeri o molto leggeri.

I terremoti di interesse sono stati inizialmente individuati attraverso una larga selezione di eventi con risentimenti teorici al sito di intensità  $I_s \geq V$  grado MCS; tale selezione è stata ottenuta applicando agli eventi contenuti in CPTI08aq la legge di attenuazione isotropa di Blake (1941) con coefficiente di attenuazione pari a 4, stimato per l’Italia da Marcelli e Spadea (1981), e profondità fissa di 10 km. Ottenuto così un primo elenco di terremoti, sono stati controllati in DBMI08aq i relativi piani quotati delle intensità, dai quali risulta che solo in occasione di quattro eventi (vedere più avanti Tab. 1-1) sono disponibili informazioni dirette sui risentimenti nel centro abitato di Onna; aggiungendo a questi il risentimento dovuto al recente terremoto del 6 aprile 2009, tali eventi salgono a cinque.



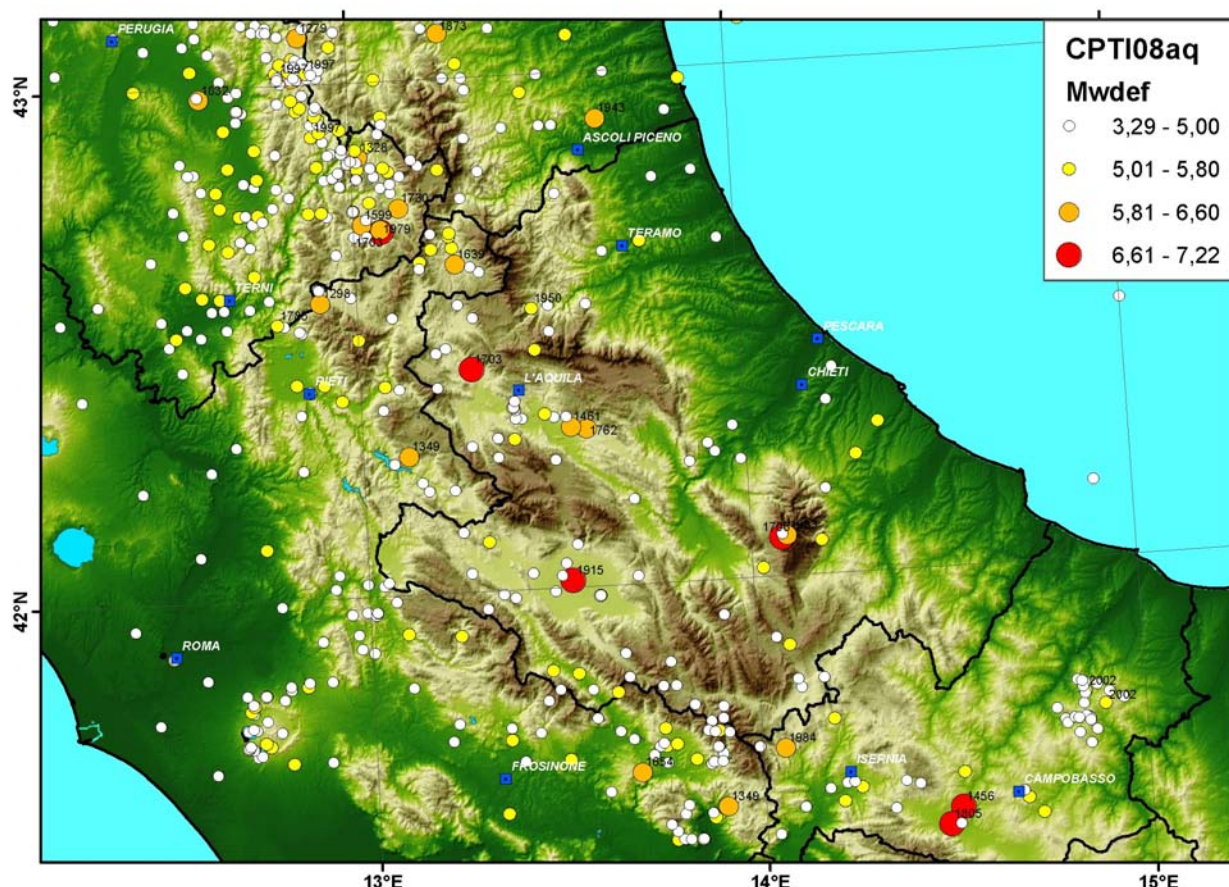


Figura 1-3: Distribuzione degli epicentri secondo CPTI08aq

Nei casi in cui la selezione di cui sopra ha segnalato la presenza di risentimenti teorici al sito privi di informazioni dirette, si è cercato di sopperire ai vuoti di informazione assegnando al sito stesso valori d'intensità desunti dall'andamento del campo macrosismico del terremoto, in pratica considerando i valori dei risentimenti osservati nelle località più vicine. Tali valori, sebbene generalmente più attendibili di quelli teorici ottenuti con legge di attenuazione, sono comunque da considerarsi molto incerti e, se inseriti nel catalogo di sito, solo indicativi della presenza di un possibile risentimento di rilievo.

In Tabella 1-1 è riportato il catalogo di sito di Onna così ottenuto; nella tabella figurano nell'ordine:

1. data in cui è avvenuto il terremoto; l'indicazione completa prevede: anno (Anno), mese (me) e giorno (gi) riferiti al meridiano di Greenwich;
2. area dei maggiori effetti; corrisponde ad un'area geografica sufficientemente nota da poter essere facilmente individuata;
3. sigla (Rt) dell'opera da cui sono stati ripresi i parametri epicentrali del terremoto, viene sempre indicato "DBMI08aq" tranne nel caso del recente terremoto del 6 aprile 2009, i cui parametri derivano da Galli e Camassi (2009), per quanto riguarda  $I_x$ ,  $I_o$  e coordinate epicentrali e da INGV (2009) per quanto riguarda il valore di  $M_w$ ;
4. intensità massima osservata ( $I_x$ ); i valori sono espressi secondo la scala MCS (1930) e moltiplicati per dieci;
5. coordinate epicentrali (Lat.N e Lon.E); sono espresse in gradi e millesimi e riferite al meridiano di Greenwich; i valori derivanti da CPTI08aq sono stati ripresi dalle colonne "Latdef" e "Londef";
6. intensità epicentrale ( $I_o$ ); i valori sono espressi secondo la scala MCS (1930) e moltiplicati per dieci;
7. magnitudo momento ( $M_w$ ); i valori derivanti da CPTI08aq sono stati ripresi dalla colonna "Mwdef";

8. distanza (D) in km tra epicentro del terremoto e sito di Onna; nel caso del terremoto del 16 gennaio 1703 viene indicata tra parentesi, in quanto solo indicativi (CPTI08aq non fornisce i parametri epicentrali);
9. intensità al sito di Onna (Is); i valori, espressi secondo la scala MCS (1930) e moltiplicati per dieci, possono derivare da informazioni dirette (in neretto) o, in assenza di queste, da stime effettuate sulla base dell'andamento del campo macrosismico; queste ultime sono riportate tra parentesi per sottolineare la loro scarsa attendibilità.

Nel complesso, il catalogo di Onna risulta caratterizzato dalla presenza di 14 terremoti che hanno prodotto, o probabilmente prodotto, risentimenti con  $I_s > VI$  MCS; di questi, 9 risultano di origine locale (epicentro nell'Aquilano) e 5 di origine esterna, ossia con epicentro in altre aree dell'Appennino centrale. I terremoti di origine esterna provengono in un caso da N (terremoto del Gran Sasso del 1950) in 2 casi da NW (terremoti della Valnerina e della Valnerina-Alto Velino del 14 e 16 gennaio 1703), in un caso da W (terremoto della Valle del Salto del 1349) e in un altro caso da S (terremoto del Fucino del 1915).

Considerando l'intensità dei risentimenti ( $I_s$ ) e l'origine e le dimensioni dei terremoti si può notare che:

- i valori d'intensità più elevati ( $I_s = X$  e  $IX-X$  grado MCS) sono stati raggiunti

in occasione di due eventi di origine locale, rappresentati dai forti terremoti dell'Aquilano del 1461 e del 2009 con epicentro nei pressi del sito; da notare che nel centro storico di Onna, come risulta dall'analisi del danno (par. 2.6) e come indicato da Galli e Camassi (2009), anche in occasione del recente terremoto del 2009 è stato osservato il X grado MCS;

- un valore relativamente elevato ( $I_s = VIII-IX$  MCS) potrebbe essersi verificato in occasione del terremoto della Valle del Salto del 1349, che produsse nella vicina L'Aquila effetti riferibili al IX MCS;
- cinque valori piuttosto rilevanti ( $I_s = VII-VIII$  e/o VIII MCS), in tre casi realmente osservati ed in due casi desunti dall'andamento dei campi macrosismici, sono abbinati a quattro terremoti con origine nell'Aquilano (1315, 1703 02 02, 1762, 1958) ed al terremoto del Fucino del 1915;
- sei valori d'intensità più modesta ( $I_s = VI-VII$  e/o VII MCS; tutti desunti dall'andamento dei campi macrosismici), dei quali tre sono dovuti a terremoti di origine locale (1786, 1791 e 1951) e tre a terremoti di origine esterna (1703 01 14, 1703 01 16 e 1950).

Tabella 1-1: Catalogo di sito di Onna (42.327 – 13.480).

Data Anno me gi	Area maggiori effetti	Rt	Ix MCS	Lat.N	Lon.E	Io MCS	Mw	D km	Is MCS
1315 12 03	Aquilano	DBMI08aq	80	42.356	13.396	80	5.57	8	(75)
1349 09 09	Valle del Salto	DBMI08aq	90	42.270	13.118	90	5.88	31	(85)
1461 11 27	Aquilano	DBMI08aq	100	42.313	13.544	100	6.41	6	<b>100</b>
1703 01 14	Valnerina	DBMI08aq	110	42.708	13.071	110	6.74	54	(70)
1703 01 16	Valnerina-Alto Velino	DBMI08aq	80	-	-	-	-	(40)	(70)
1703 02 02	Aquilano	DBMI08aq	100	42.434	13.292	100	6.72	19	<b>80</b>
1762 10 06	Aquilano	DBMI08aq	95	42.308	13.585	90	5.99	9	(75)
1786 07 31	Aquilano	DBMI08aq	70	42.356	13.396	60	4.94	8	(65)
1791 01	Aquilano	DBMI08aq	75	42.356	13.396	75	5.35	8	(70)
1915 01 13	Area del Fucino	DBMI08aq	110	42.014	13.530	110	7.00	35	<b>75</b>
1950 09 05	Gran Sasso	DBMI08aq	80	42.547	13.457	80	5.68	24	(65)
1951 08 08	Aquilano	DBMI08aq	70	42.466	13.461	70	5.30	15	(65)
1958 06 24	Aquilano	DBMI08aq	75	42.340	13.478	75	5.21	1	<b>75</b>
2009 04 06	Aquilano	GC-INGV09	100	42.314	13.499	90	6.30	2	<b>95</b>



Nel complesso, la frequenza di comparsa per risentimenti di rilievo, che caratterizza il centro abitato di Onna (n. 14 risentimenti con  $I_s > VI$  MCS negli ultimi mille anni circa), è da considerarsi nell'ambito dell'Italia centrale molto elevata; infatti, risulta molto vicina alle frequenze osservate nei centri abitati di Norcia [n. 17 risentimenti secondo Molin (2006)] e de L'Aquila [n. 15 risentimenti secondo DBMI08aq ed includendo anche quello dovuto al terremoto del 2009], che rappresentano i centri abitati con le più elevate frequenze dell'Italia centrale.

### **Indicazioni sulla risposta sismica del sito di Onna**

Considerando i cinque terremoti con risentimenti realmente osservati nel centro abitato di Onna (Tab. 1-1) si può osservare che tre (1461, 1958 e 2009) hanno avuto origine nelle immediate vicinanze del sito e che due, rappresentati dai grandi terremoti appenninici del 2 febbraio 1703 e del 13 gennaio 1915, mostrano origine rispettivamente a 19 e 35 km dal sito stesso; inoltre, considerando anche i risentimenti osservati nelle località vicine, si possono ricavare le seguenti indicazioni riguardanti la risposta sismica del sito di Onna stessa.

1. L'intensità molto elevata ( $I_s = X$  MCS) osservata nel centro abitato di Onna in occasione del terremoto del 1461 non sembra rappresentare un picco di intensità, in quanto anche i risentimenti nei vicini centri abitati di Sant'Eusanio Forconese e Poggio Pienze hanno raggiunto il X grado. Tuttavia è da notare che, trattandosi di un terremoto medioevale, potrebbero essere disponibili solo le informazioni relative alle località più fortemente interessate dal terremoto e non quelle relative alle località interessate da intensità più modeste; in questo caso in Onna potrebbe essersi verificato un picco d'intensità.
2. L'intensità del risentimento in Onna ( $I_s = VIII$  MCS) dovuto al terremoto del 2 febbraio 1703 risulta uguale a quella generalmente osservata nell'area in cui ricade Onna stessa; in questo contesto fa eccezione solo il risentimento nel vicinissimo centro abitato di San Gregorio (fr. de L'Aquila) che raggiunge una  $I_s = IX$  MCS.
3. L'intensità osservata ( $I_s = VII-VIII$  MCS) in Onna in occasione del terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915 risulta in linea con quella osservata nell'area, che varia dall' $VIII$  (ad es., Paganica, Fossa, Poggio Pienze) al  $VII-VIII$  MCS (ad es., L'Aquila, Monticchio, Civita di Bagno).
4. Anche l'intensità ( $I_s = VII-VIII$  MCS) osservata in Onna in occasione del terremoto del

1958 risulta in linea con quella osservata nell'area, testimoniata dal valore ( $I_s = VII-VIII$  MCS) osservato in Bazzano e da quelli ( $I_s = VII$  MCS) osservati a Fossa, L'Aquila, Paganica, Poggio Pienze, San Demetrio ne' Vestini e Tempera.

5. Molto irregolare, infine, risulta la distribuzione delle intensità osservate nelle località dell'area circostante ad Onna in occasione del recente terremoto del 6 aprile 2009 (Galli e Camassi, 2009; situazione al 25 maggio 2009); da tale distribuzione si può notare che:
  - a. ad Onna, molto vicina all'epicentro, è stata assegnata una  $I_s = IX-X$  grado MCS ( $I_s = X$  grado nel centro storico), che risulta, con quella osservata a Castelnuovo (circa 20 km ad ESE da Onna), la più elevata di tutto il campo macrosismico;
  - b. nel raggio di circa 3 km attorno Onna sono presenti i centri abitati di Monticchio ( $I_s = VI$  MCS), Bazzano ( $I_s = VIII$ ) e San Gregorio ( $IX$ ), che mostrano valori d'intensità tra loro molto differenti; tra questi spicca quello assegnato a Monticchio ( $I_s = VI$  MCS), inferiore di oltre tre gradi rispetto a quello di Onna; in questo contesto il valore assegnato ad Onna ( $IX-X$  MCS) rappresenta un picco d'intensità;
  - c. anche nel raggio di 10 km circa i valori d'intensità osservati nei vari centri abitati risultano molto variabili; vanno dai  $VI$  e  $VI-VII$  gradi MCS assegnati a vari piccoli centri abitati dei comuni di L'Aquila (Filetto e Camarda), Ocre (Cavalletto, San Panfilo e Valle d'Ocre) e Barisciano (Petogna e San Martino), ai  $VII$  e  $VII-VIII$  gradi assegnati ad alcune frazioni dei comuni di L'Aquila (Bagno Piccolo, Bagno Grande, Civita di Bagno e Pescomaggiore), Ocre (San Martino e San Felice d'Ocre) e Fossa (Fossa), agli  $VIII$  ed  $VIII-IX$  gradi assegnati a L'Aquila e Paganica (comune de L'Aquila), a Casentino (Sant'Eusanio Forconese) e Poggio Pienze ed infine ai  $IX$  gradi di Sant'Eusanio Forconese e Tempera (L'Aquila).

Considerando quanto osservato in occasione dei cinque terremoti sopra indicati, si è del parere che i picchi di intensità osservati nel centro abitato di Onna in occasione del terremoto del 2009 e forse di quello del 1461 siano più probabilmente da correlarsi, data la vicinanza

dell'epicentro (Tab. 1-1), ad effetti di sorgente, piuttosto che a fenomeni di amplificazione locale collegati alle condizioni geomeccaniche dei terreni sui quali sorge l'abitato, allo stato del patrimonio edilizio, o ad altre cause ancora. D'altra parte, nessun picco di intensità si è verificato in occasione dei grandi terremoti appenninici del 2 febbraio 1703 e del 1915 con origine rispettivamente a 19 e 35 km dal sito e neppure in occasione del terremoto "locale" del 1958.

Infine, relativamente al picco collegato all'attuale terremoto, bisogna ricordare che le stime di intensità secondo la scala MCS, che non considera la vulnerabilità degli edifici, possono essere fortemente influenzate dalle differenti vulnerabilità complessive che si osservano attualmente negli centri abitati italiani e che sono collegate alle più o meno accentuate espansioni edilizie recenti dei centri abitati stessi. Ad esempio, a parità di scuotimento, un centro abitato con una elevata quantità di edifici di recente costruzione (minor vulnerabilità complessiva) risulterà meno danneggiato di un centro abitato privo di edifici recenti (maggior vulnerabilità complessiva) e quindi il secondo sarà caratterizzato da un più elevato grado di intensità MCS. Non è escluso che casi del genere si siano verificati anche con l'ultimo terremoto contribuendo in parte a determinare la presenza di picchi d'intensità.

## Conclusioni

Dalle indagini macrosismiche svolte, il centro abitato di Onna risulta caratterizzato (vedi Tab. 1-1) da:

- elevata "massima intensità storica osservata", che risulta pari al X grado MCS; nell'ambito dell'Italia centrale è superata solo da quelle, comprese tra il X-XI e l'XI grado MCS, prodotte in varie località abruzzesi ed in minor misura laziali ed umbre dai grandi terremoti del gennaio-febbraio 1703 (Valnerina e Aquilano), del 1706 (Maiella) e 1915 (Fucino); la massima intensità di Onna è stata osservata in occasione del terremoto del 1461 e, se si considera solo il centro storico, anche in occasione del recente terremoto del 2009;
- frequenza di comparsa per risentimenti di rilievo (n. 14 risentimenti con  $I_s > VI$  MCS negli ultimi mille anni circa) da considerarsi molto elevata; infatti, nell'ambito dell'Italia centrale, risulta simile o comunque molto vicina alle frequenze di Norcia [n. 17 risentimenti] e L'Aquila [n. 15 risentimenti], che

rappresentano i centri abitati più frequentemente interessati da tali risentimenti ( $I_s > VI$  MCS);

- presenza di picchi d'intensità, probabilmente collegati ad effetti di sorgente, in occasione del recente terremoto del 6 aprile 2009 e forse anche in occasione del terremoto medioevale del 1461.

Dal catalogo di sito (Tab. 1-1) si può anche osservare che, prima del terremoto odierno, Onna è stata in gran parte distrutta e quindi successivamente ricostruita solo in occasione del terremoto del 1461; danni gravi, ma non diffusi ( $I_s = VIII$  o VII-VIII MCS), si sono invece più volte verificati sia prima che dopo lo stesso terremoto del 1461.

Dal catalogo di sito (Tab. 1-1) si può anche osservare che, prima del terremoto odierno, Onna è stata in gran parte distrutta e quindi successivamente ricostruita solo in occasione del terremoto del 1461; danni gravi, ma non diffusi ( $I_s = VIII$  o VII-VIII MCS), si sono invece più volte verificati sia prima che dopo lo stesso terremoto del 1461.

## 1.4 Inquadramento sismotettonico dell'area

Il contesto sismotettonico dell'area interessata dal terremoto aquilano del 6 aprile 2009 si può inquadrare nei processi estensionali che caratterizzano la deformazione della crosta appenninica ed in particolare quelli relativi alla distensione NE-SW di questo settore di catena. Senza entrare nel merito e nelle cause di tali processi - attivi all'interno di un dominio di convergenza tra placche litosferiche come quello mediterraneo (si veda, ad esempio Patacca e Scandone, 1989) - di fatto è possibile osservare come tutto il settore appenninico, dalla Lunigiana alla Calabria settentrionale sia sottoposto a distensione perpendicolare all'asse della catena. Tale estensione è accomodata da grandi faglie normali ad andamento NW-SE ed immersione tirrenica, alle quali va ascritta tutta la sismicità maggiore della penisola.

Nella regione aquilana, tali faglie sono conosciute e studiate in dettaglio più che altrove lungo la catena e molte di esse sono state investigate anche attraverso analisi paleosismologiche che ne hanno consentito la parametrizzazione in termini sismogenetici (si veda in Galli et al., 2008). A queste faglie sono stati anche associati i terremoti più forti della regione, alcuni con l'autorità che deriva appunto dalle analisi paleosismologiche, altri dall'associazione della

distribuzione delle massime intensità rispetto all'andamento di ogni singola struttura.

In particolare, Galadini e Galli (2000) hanno riconosciuto per primi l'esistenza di due principali sistemi di faglie nell'area di interesse; l'uno più esterno (orientale), caratterizzato da grandi faglie normali "silenti", ovvero attive durante tutto il Pleistocene Superiore e l'Olocene, ma non nel periodo storico (e quindi prive di terremoti conosciuti). L'altro più interno (occidentale), al quale sono stati associati con certezza gli eventi più distruttivi presenti nei repertori sismologici.

La Figura 1.4a mostra schematicamente i sistemi di faglie qui accennati ed i terremoti associati al sistema occidentale: quello del 1703 (2 febbraio) al sistema di faglie dell'alta valle dell'Aterno (UAFS); quello del 1349 (main-shock settentrionale; per quello più meridionale vedi Galli e Naso, 2009) al sistema di faglie intorno a Campo Felice (OPFS-CFCFS, faglie di Ovindoli-Pezza, Campo Felice e Colle Cerasitto); quello catastrofico del 1915 al sistema di faglie del Fucino (FFS). Quello del 1461, già attribuito da Galadini e Galli (2000) al segmento più settentrionale del sistema di faglie della media valle dell'Aterno (MAFS), qui ridefinito faglia Collebrincioni-San Demetrio (PFS, Paganica Fault System, in nero in Fig. 1.4a).

Ed è proprio a questa struttura, poco definita precedentemente in letteratura, che si deve associare anche il terremoto dell'Aprile 2009, di fatto un "gemello" di quello del 1461, sia in termini di magnitudo che di distribuzione del danneggiamento.

Sono evidenti, a questo punto, alcuni fatti di notevole importanza dal punto di vista sismogenetico e della pericolosità sismica dell'area. Innanzitutto quello relativo all'esistenza del sistema di faglie della media valle dell'Aterno s.s. (MAFS), di grande potenziale sismogenetico (in base alla possibile lunghezza del sistema – circa 20 km – sarebbe capace di rilasciare magnitudo comparabili o superiori a quella del 2009), con termine alla faglia attivatesi nel 1703 (UAFS) e nel 2009 (PFS), ma silente storicamente. E quindi quello concernente l'intero sistema di strutture orientale, dalle faglie della Laga a NW (LMFS) attraverso quelle del Monte San Franco-Campo Imperatore (CIFS), sino a quelle bordiere della piana di Sulmona (MMFS), tutte storicamente

silenti ma dall'elevatissimo potenziale sismogenetico.

Di fatto, grazie alle osservazioni di campagna condotte a seguito del terremoto del 2009, ed in particolare quelle relative al campo di fratturazione e fagliazione di superficie (Galli, Naso e Peronace, in prep.), si è colmato un vuoto di conoscenze sulle strutture sismogenetiche in area aquilana, non essendo – come accennato – il PFS pienamente conosciuto e parametrizzato in precedenza.

Da questo punto di vista, la Figura 1.4b, oltre alla distribuzione delle intensità MCS rilevate in occasione del terremoto del 2009, mostra la posizione di Onna relativamente alla proiezione in superficie del piano di faglia attivatosi (retangolo tratteggiato, corrispondente al PFS) ed all'emergenza dello stesso (linea a tratto continuo, ovvero traccia della fagliazione di superficie).

Considerando la posizione dell'ipocentro (stella nera) e la distribuzione asimmetrica del danneggiamento (fortemente allungato verso SE) è possibile ipotizzare un forte effetto di direttività verso i quadranti sudorientali (i.e., la rottura, dall'enucleazione nel lato in basso ad ovest della faglia, si è propagata in alto verso est). In questo quadro, Onna, così come il vicino San Gregorio, oltre ad essere localizzata in prossimità della faglia in superficie, ha "visto" la rottura propagarsi in direzione dall'ipocentro verso la superficie, subendo – in un certo qual modo – il massimo dell'energia elastica radiata lungo la rottura.

Infine, per quanto concerne i possibili tempi di ritorno dei terremoti simili a quello dell'aprile 2009, è possibile ipotizzare un intervallo di qualche centinaia di anni. Infatti, considerando che il terremoto del 1461 è un "gemello" di quello del 2009 e che molto verosimilmente è stato generato dalla stessa struttura tettonica, il tempo intercorso tra i due eventi (circa 550 anni) può essere preso come termine di riferimento per questa classe di magnitudo. Tuttavia, dal momento che il sistema di faglie di Paganica (PFS in Fig. 1.4a) può interagire con i sistemi posti sia a NW che a SE, non si può escludere - allo stato attuale delle conoscenze - l'occorrenza di terremoti anche più grandi al di fuori dalla sequenza temporale ipotizzata. Si pensi, per esempio, al catastrofico terremoto del 1703 (Mw=6.7), che potrebbe essere stato generato p.p. anche dal sistema di Paganica.

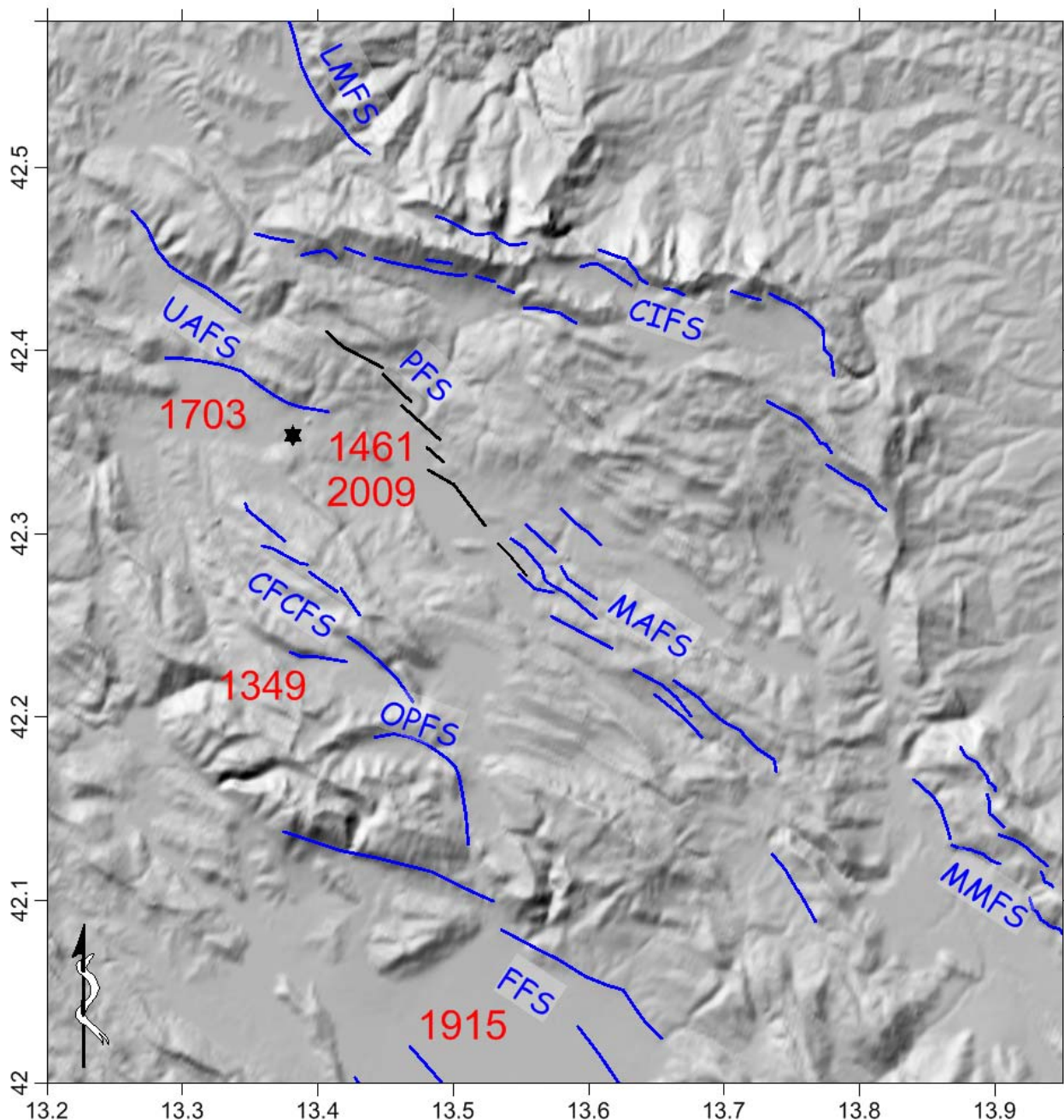


Fig. 1.4a: Schema delle faglie attive primarie dell'appennino aquilano. LMFS, sistema di faglie dei monti della Laga (i.e., zona del Lago di Campotosto); CIFS, sistema di faglie del Monte San Franco (ad occidente) e di Campo Imperatore (ad oriente); UAFS, sistema di faglie dell'alta valle dell'Aterno (i.e., faglie del Monte Marine e del Monte Pettino); PFS, sistema di faglie di Paganica (faglie Collebrincioni-San Demetrio); MAFS, sistema di faglie della media valle dell'Aterno; MMFS, sistema di faglie bordiero della piana di Sulmona (faglie del Monte Morrone); CFCFS, sistema di faglie di Campo Felice-Colle Cerasitto; OPFS, faglie di Ovindoli-Piano di Pezza; FFS, sistema di faglie del bacino del Fucino. La stella indica l'ipocentro del terremoto del 2009. In rosso le date dei terremoti distruttivi associati alle relative strutture tettoniche note. Il PFS, responsabile del terremoto del 2009, rappresenta l'estensione verso NW del MAFS, ma appare – almeno in questa occasione – da questo indipendente (mod. da Galadini e Galli, 2000).



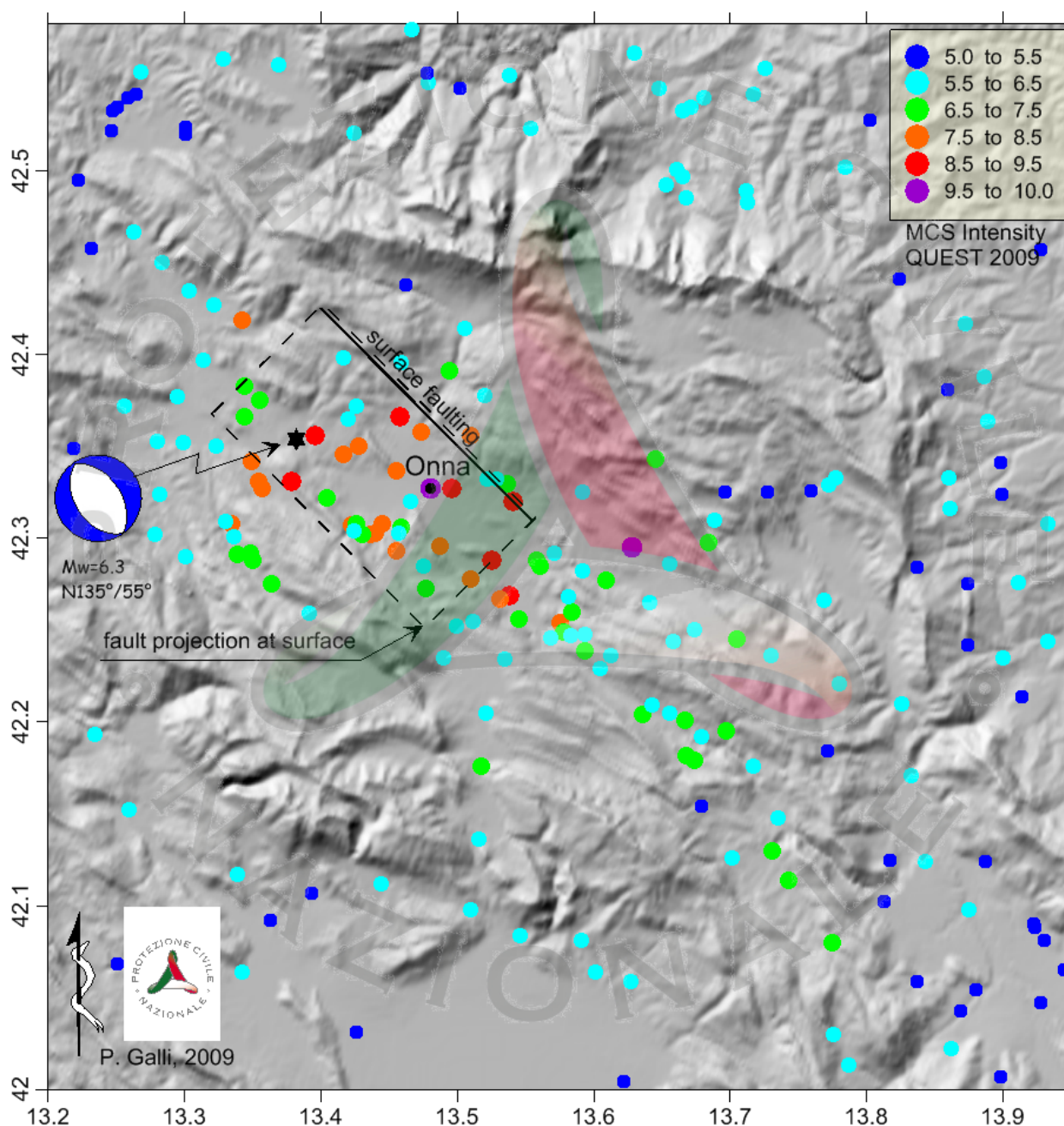


Figura 1-4b: Distribuzione delle intensità macrosismiche (scala MCS) valutate dal Quick Earthquake Survey Team per il terremoto dell'Aprile 2009. In blu le località con intensità inferiore al V-VI grado MCS, in azzurro quelle tra il V-VI ed il VI e così via. Il rettangolo nero a tratteggio indica la proiezione approssimativa in superficie del piano di faglia responsabile del terremoto di  $M_w=6.3$ . La linea a tratto pieno evidenzia in maniera semplificata l'andamento della fagliazione di superficie rilevata dal personale del Dipartimento della Protezione Civile. La stella nera è l'ipocentro rilocalizzato in prossimità dell'Aquila dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia a circa 10 km di profondità, mentre la soluzione focale è stata mutuata dall'United States Geological Survey (faglia normale immergente a sudovest di  $55^\circ$ ). Osservando la figura risulta chiara la direzione di rottura della faglia, dall'area più occidentale in profondità (ipocentro) verso quella più orientale in superficie. L'effetto di direttività della rottura ha comportato un maggior scuotimento ed allungamento dell'area caratterizzata dalle intensità più elevate verso sudest. Da questo punto di vista Onna, localizzata proprio a sudest dell'ipocentro ed in prossimità dell'emersione in superficie della faglia, ha "visto" propagarsi la fagliazione in direzione dall'enucleazione della rottura in profondità.

## 1.5 Analisi storico-urbanistica

### Premessa

Lo scopo di questa analisi consiste nel delineare le origini e la crescita dell'impianto urbano di Onna e approfondire la caratterizzazione ed evoluzione delle tipologie architettoniche nel tempo. L'analisi urbana che ne risulta fornisce le chiavi interpretative della formazione del tessuto urbano e serve a chiarire alcuni aspetti sulle fasi costruttive e le forme aggregative degli isolati. A causa della ristrettezza dei tempi, pur nella consapevolezza che una accurata indagine delle fonti documentarie e bibliografiche avrebbe portato a conclusioni più approfondite, si è tentato comunque di utilizzare metodi speditivi di indagine storica attingendo a fonti documentarie su WEB e ottimizzando l'osservazione dei repertori fotografici storici e attuali.

### Origini e caratteri insediativi

Il borgo di Onna ha avuto un carattere rurale fin dalle sue origini grazie alla fertilità del sito posto alla confluenza tra il Vera e l'Aterno e a causa dell'assenza, per lungo tempo, di un centro urbano con caratteri difensivi. Infatti, anche nella morfologia attuale dell'impianto urbano non si ravvisano tracce di "recinti" e presidi a carattere difensivo (mura, torri o porte) mentre è marcata la forma di un tessuto urbano aperto verso la campagna circostante. Le prime notizie del villaggio si hanno nel 1178 come *Villa Unda* (bolla papale di Clemente III) e nel 1204 (bolla papale di Innocenzo III) derivando il suo nome dal latino *unda*=onda a causa delle frequenti inondazioni cui la località era soggetta trovandosi nella parte più bassa della conca aquilana. Non si possono escludere insediamenti preromani e di epoca romana di cui si ipotizza l'esistenza di un "pagus" (villaggio a carattere rurale) dipendente dalla città romana di *Aveia* (attuale Fossa). In generale Onna, fin dal medioevo, non ha avuto una storia indipendente da quella del resto del territorio dell'Aquila: fu assegnata come feudo nel 1529 all'alfiere Lopez, poi passò ai Carafa, ai Porcinai, ai Caracciolo, agli Orsini e ai Duchi di Costanzo.

Il territorio di Onna fino al 1800 era caratterizzato da impaludamenti ed era interessato da frequenti inondazioni del fiume Aterno che non aveva argini. Oltre all'agricoltura all'inizio del 900 sono attive altre attività artigianali legate alla lavorazione del legno e all'edilizia (fornaci di calce e produzione di laterizi). Particolare importanza assume il rapporto con il tratturo (Fig. 1-5) sul quale si attestano le chiese di S. Anna e

San Giovanni con riposi per gli ovini e taverne per i pastori.

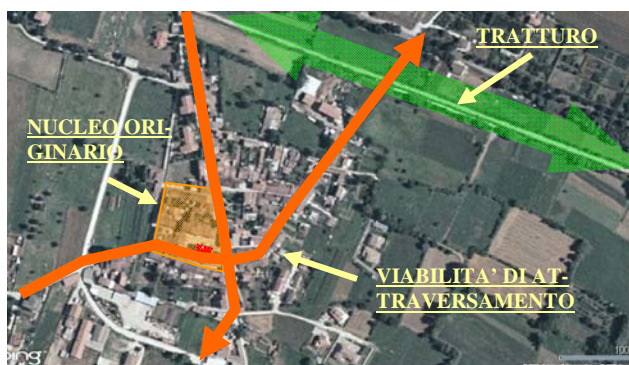


Figura 1-5: Caratteri insediativi di Onna

La circostanza di maggiore rilievo per la caratterizzazione del centro urbano consiste nella datazione della chiesa parrocchiale di San Pietro Apostolo che risale all'epoca romanica. L'esistenza di un "antichissimo" pozzo per uso pubblico davanti alla chiesa (Mariani 1807), conferma il fatto che il luogo della piazza davanti la chiesa costituisse da sempre una "centralità" urbana. Se si osserva che attorno alla piazza sono presenti alcuni sottopassi ad "arco" testimonianza di un tessuto urbano di origine medievale nel quale si dà priorità allo spazio ad uso pubblico sull'uso privato dello spazio urbano, si può concludere che l'area attorno alla piazza si può considerare come il nucleo originario di Onna. A suffragare tale ipotesi contribuisce anche il fatto che la viabilità di attraversamento (i cosiddetti tracciati di permanenza) da Paganica per Monticchio e dal tratturo verso il fiume, sono tangenti a questa area e ne sono, per così dire, a servizio diretto incrociandosi proprio in corrispondenza della chiesa.

### Ipotesi di sviluppo urbano

Una volta accertata l'area del nucleo originario, che allo stato delle conoscenze e in assenza di fonti documentarie contrarie si può ritenere come la più probabile, si possono ipotizzare le zone dove si è sviluppato nel tempo l'insediamento di Onna. Per arrivare a qualche conclusione sono state percorse due strade: l'osservazione della morfologia degli aggregati edilizi e l'analisi stilistica degli edifici esistenti pre-sisma.

Dalla lettura della mappa catastale, benché moderna, si possono esaminare le forme delle particelle in modo da individuare il grado di frammentazione dell'edificato indicativo di un tessuto minuto edilizio più povero oppure l'esistenza di palazzotti nobiliari indicativi di uno stile tipologico-costruttivo di una certa epoca. Dall'esame della mappa catastale riportata in Fig. 1-6 risulta difficile individuare quanto detto.

Si noti la finestra di origine quattrocentesca nella piazzetta del giardino comunale.

La presenza di ampliamenti urbani successivi al medioevo perciò si può fare solo attraverso il riconoscimento dei caratteri stilistici dell'edificato. Sulla base di questi si delinea l'ipotesi di sviluppo che viene riportata in Figura 1-7 in cui si evidenzia, con il colore giallo, la saturazione dell'impianto urbano di epoca più recente (700-800).



Figura 1-6: Estratto della mappa catastale

### ***Caratteri del tessuto urbano***

Il tessuto urbano è costituito dalla aggregazione di edifici a schiera e di palazzotti. La comune origine dei due tipi di edifici è riconducibile alla cellula elementare di dimensioni 5x5 mt

oppure 6x6 metri con murature di spessore tra 60 e 80 cm.

L'edificato si è sviluppato per addizioni della cellula elementare in profondità così da costituire la casa aggregata a schiera o in adiacenza così da costituire il palazzotto. In elevazione si nota l'uso frequente di volte al piano terra e ai piani interrati e solai in ferro e tavelloni o cemento armato in sostituzione degli originali solai in legno.

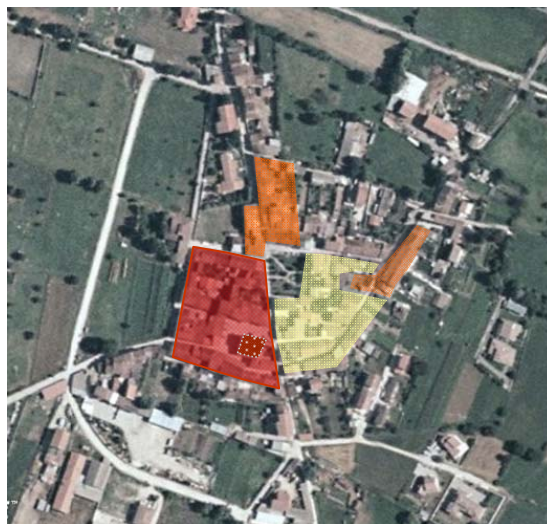


Figura 1-7: Ipotesi di sviluppo urbano (in rosso il nucleo più antico, in arancione e gialle le espansioni rispettivamente del '600-'800 e successive)





### 2.1 Introduzione

Le attività necessarie alla microzonazione sismica, come noto, richiedono il concorso di molte conoscenze diversificate, dalla sismologia alla geologia, dalla accelerometria alla ingegneria sismica, per citarne solo alcune.

Uno degli aspetti da non trascurare è quello dell'analisi del danno causato dagli eventi sismici. Nel caso di studio il danno subito dagli edifici di Onna è talmente alto e diffuso che non è possibile trascurare questo dato ai fini degli studi di microzonazione.

Come noto, il livello del danneggiamento prodotto da un sisma dipende dal concorso di due fattori: lo scuotimento sismico e la vulnerabilità sismica.

Per quanto riguarda il livello di scuotimento in Onna esistono diversi criteri di misura. Al momento, non essendo ancora disponibili gli studi di microzonazione, ci si può basare, per avere una stima indicativa, sulle registrazioni della RAN (Tabella 2-1). Da esse si ricavano, per la stazione di AQV che ha condizioni geologiche presumibilmente abbastanza simili a quelle di Onna e che è molto prossima alla faglia, valori significativi del picco di velocità e di spostamento. Anche le stazioni AQG e AQK, prossime all'epicentro presentano valori confrontabili dei parametri di picco.

Tabella 2-1: Valori di picco di alcune registrazioni accelerometriche dell'evento principale (Rapporto RAN)

Staz.	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGD (cm)	DIST (Km)
AQG	504.9	35.2	5.6	4.3
AQV	662.6	45.6	7.0	4.8
AQK	366.3	34.5	7.7	5.6

Per quanto riguarda la classificazione della vulnerabilità si possono utilizzare diverse scale. In questo studio su adopera la scala macrosismica europea EMS-98, mediante la quale si può associare ad un edificio un livello crescente in funzione di alcuni parametri costruttivi e dello stato di conservazione. Maggiori dettagli sono forniti nel seguito.

Infine occorre disporre anche di una classificazione del danno. Anche a questo fine si utilizza quella proposta nel Rapporto EMS-98.

Fatte queste premesse è possibile ora chiarire lo scopo dell'analisi del danno che viene sviluppata in questo Capitolo. Dall'osservazione oggettiva del danno subito dall'edificio di Onna e dalla attribuzione basata su di un "giudizio esperto" del relativo livello di vulnerabilità è possibile stimare l'entità dello scuotimento mediante l'intensità macrosismica EMS-98. Questa informazione, unita alle molte altre che provengono da altri studi previsti nell'ambito della microzonazione sismica, può contribuire a chiarire il fenomeno del danneggiamento, che costituisce il punto di partenza del presente lavoro. Ovviamente queste valutazioni hanno ragione di essere solo in termini statistici e vanno considerate riferite all'intero edificio, non potendosi attendere dal metodo una validità su casi specifici.

### 2.2 Informazioni di base

L'interpretazione del danno a seguito di un terremoto è una attività che si basa fortemente sul "giudizio esperto". Tale giudizio è tanto più solido quanto maggiori sono le informazioni che ad esso concorrono. Per questo motivo si ritiene far precedere alla descrizione del danno l'acquisizione delle seguenti informazioni: (i) sismicità da dati storici, (ii) evoluzione storica, urbanistica e costruttiva dell'abitato di Onna.

#### Sismicità

I §§ 1.3 e 1.4 del presente Rapporto sono stati dedicati ad una sintetica analisi della sismicità di Onna, da cui si ricava che il centro abitato risulta caratterizzato da:

- elevata "massima intensità macrosismica storica", che risulta pari al X grado MCS, osservata in occasione del terremoto del 1461;
- frequenza di comparsa per risentimenti di rilievo (n. 14 risentimenti con  $I_s > VI$  MCS negli ultimi mille anni circa) da considerarsi molto elevata;
- presenza di picchi di intensità, probabilmente collegati ad effetti di sorgen-

te, in occasione del recente terremoto del 6 aprile 2009 e forse anche in occasione del terremoto medioevale del 1461.

Dal catalogo di sito si può anche osservare che, prima del terremoto odierno, Onna è stata distrutta e quindi successivamente ricostruita solo in occasione del terremoto del 1461; danni gravi, ma non diffusi ( $I_s$ =VIII o VII-VIII MCS), si sono invece più volte verificati dopo lo stesso terremoto del 1461.

Il contesto sismotettonico dell'area interessata dal terremoto aquilano del 6 aprile 2009 si può inquadrare nei processi estensionali che caratterizzano la deformazione della crosta appenninica ed in particolare quelli relativi alla distensione NE-SW di questo settore di catena. Nella regione aquilana le faglie sono conosciute e studiate in dettaglio più che altrove lungo la catena e molte di esse sono state investigate anche attraverso analisi paleosismologiche che ne hanno consentito la parametrizzazione in termini sismogenetici. Alla faglia che prende il nome da Paganica si deve associare il terremoto dell'Aprile 2009, di fatto un "gemello" di quello del 1461, sia in termini di magnitudo che di distribuzione del danneggiamento.

Per quanto concerne i possibili tempi di ritorno dei terremoti simili a quello dell'aprile 2009, è possibile ipotizzare un intervallo di qualche centinaia di anni. Infatti, considerando che il terremoto del 1461 è un "gemello" di quello del 2009 e che molto verosimilmente è stato generato dalla stessa struttura tettonica, il tempo intercorso tra i due eventi (circa 550 anni) può essere preso come termine di riferimento per questa classe di magnitudo. Tuttavia, dal momento che il sistema di faglie di Paganica (PFS in Fig. 14a) può interagire con i sistemi posti sia a NW che a SE, non si può escludere - allo stato attuale delle conoscenze - l'occorrenza di terremoti anche più grandi al di fuori dalla sequenza temporale ipotizzata. Si pensi, per esempio, al catastrofico terremoto del 1703 ( $M_w$ =6.7), che potrebbe essere stato generato p.p. anche dal sistema di Paganica.

### **Evoluzione storico-urbanistica**

Il § 1.5 del presente Rapporto è stato dedicato ad una prima analisi della evoluzione storica, urbanistica e costruttiva dell'abitato di Onna. Il tessuto urbano è costituito dalla aggregazione di edifici a schiera e di palazzotti. La comune origine dei due tipi di edifici è riconducibile alla cellula elementare di dimensioni 5 x 5 metri oppure 6 x 6 metri con murature di spessore tra 60 e 80 cm. L'edificato si è sviluppato per addizioni

della cellula elementare in profondità così da costituire la casa aggregata a schiera o in adiacenza così da costituire il palazzotto. In elevazione si nota l'uso frequente di volte al piano terra e ai piani interrati e solai in ferro e tavelloni o cemento armato in sostituzione degli originali solai in legno.

### **2.3 La scheda di rilevamento**

La descrizione accurata del danno dei diversi edifici richiede di esaminare e descrivere accuratamente il singolo caso. Questo tipo di informazioni sono contenute nell'Appendice A, di cui si farà cenno anche nel seguito. Nell'ottica del confronto tra diversi edifici ed anche allo scopo di consentire una elaborazione statistica dei dati del rilievo, è stata messa a punto una scheda di rilevamento contenente le seguenti informazioni:

- Numero di Aggregato (per la spiegazione si rimanda al § 2.5)
- Numero di unità strutturale (per la spiegazione si rimanda al § 2.5)
- Riferimento Fotografico (numero delle file della foto riferita all'unità strutturale)
- Superficie (mq)
- Numero di piani
- Volume (mc)
- Tipologia elementi verticali:
  - A - Pilastrini di calcestruzzo armato
  - B - Setti di calcestruzzo armato
  - C - Muratura di mattoni
  - D - Muratura di pietrame
  - E - Muratura di blocchetti
  - F - Mista
  - X - Altro
- Tipologia orizzontamenti
  - 1 - Calcestruzzo armato
  - 2 - Legno
  - 3 - Acciaio e voltine/tavelloni
  - 4 - Volte in muratura
  - 99 - Altro
- Tamponature collaboranti (SI/NO)
- Piano Debole (SI/NO)
- Classe di vulnerabilità (da A a F secondo EMS-98)

- A – terra cruda
- A - muratura in pietrame irregolare con collegamenti poco efficaci
- B - muratura in pietrame irregolare con collegamenti efficaci (interventi di consolidamento)
- B - muratura a tessitura regolare con collegamenti poco efficaci
- C - muratura a tessitura regolare ben collegata
- C - telai o setti in calcestruzzo armato senza progettazione sismica
- D - muratura armata
- D - strutture in legno
- D - telai o setti in calcestruzzo armato con progettazione sismica "storica"
- E - telai o setti in calcestruzzo armato con progettazione sismica "moderna"
- E - struttura in acciaio
- F - struttura con vulnerabilità molto bassa
- Tipologia di danno:
  - A - Piano debole
  - B - Meccanismo di piano
  - C - Pilastrini tozzi
  - D - Rotture a taglio pilastrini
  - E - Espulsione paramento muratura
  - F - Muratura: meccanismo nel piano
  - G1 - Muratura: meccanismo fuori piano (ribaltamento)
  - G2 - Muratura: meccanismo fuori piano (pressoflessione)
  - G3 - Muratura: meccanismo fuori piano (disgregazione)
  - H - Muratura: interferenza con edifici contigui (martellamento)
  - D1 - Rotture a taglio tamponature
  - E1 - Espulsione tamponature
- Livello di danno (Da D0 a D5 secondo EMS-98)
  - D0 - Assenza di danno
  - D1 - Muratura: lesioni capillari in pochissime pareti, cadute di porzioni di intonaco, caduta sporadica di rivestimenti
  - D1 - C.a.: lesioni capillari nell'intonaco su travi, pilastri e pareti; lesioni capillari su tamponature e tramezzi
  - D2 - Muratura: lesioni in molte pareti, cadute di grosse parti di intonaco, collasso parziale dei comignoli
  - D2 - C.a.: lesioni in travi, pilastri e setti, lesioni nelle tamponature e nei tramezzi, cadute di grosse parti di intonaco
  - D3 - Muratura: lesioni ampie ed estese nella maggior parte delle pareti, caduta di tegole e comignoli, collasso di singoli elementi non strutturali
  - D3 - C.a.: Lesioni nei nodi di travi, pilastri e pareti, espulsione del copriferro, instabilizzazione delle barre, lesioni ampie nelle tamponature, ribaltamento di singoli pannelli di tamponatura
  - D4 - Muratura: collassi significativi di pareti, collasso strutturale parziale di coperture e solai
  - D4 - C.a.: ampie lesioni negli elementi strutturali con crisi per compressione e frattura di barre, collasso ancoraggio armature, dislocazione e fuori piombo delle colonne, collasso di alcune colonne o di un singolo solaio ai livelli superiori
  - D5 - Muratura: crollo
  - D5 - C.a.: crollo completo o di un singolo livello
- Interventi moderni (SI/NO), localizzati e di recente realizzazione (intonaco armato, cordoli in c.a.)
- Posizione dell'unità strutturale nell'ambito dell'aggregato
  - A - Angolo
  - I – Interno
  - T – Testata
  - S – Singolo (isolato)

Le classificazioni della vulnerabilità (Figura 2-1) e del danno (Fig. 2-2a per gli edifici in muratura e Fig- 2-2b per il calcestruzzo armato) sono state riprese integralmente dalla scala EMS-98.

Le schede compilate sono riportate in Appendice D.

## 2.4 Le basi documentali e cartografiche ed il sistema informativo territoriale

Al momento di avviare le attività di rilievo del danno risultavano disponibili alcune basi cartografiche. Non esisteva una planimetria con l'individuazione aggiornata del perimetro dei vari edifici. E' stato allora necessario procedere ad una ricostruzione della planimetria dell'abitato di Onna. Questa ricostruzione ha incontrato spesso difficoltà, specialmente nei casi in cui gli edifici erano completamente crollati. Di grande aiuto sono state due fonti di dati relative alle condizioni prima del sisma: le fotografie storiche messe a disposizione dagli abitanti di Onna per il tramite dell'associazione "Onna Onlus" (un esempio è riportato in Fig. 2-3) e le fotografie oblique contenute nel sito <http://maps.live.com> (un esempio è riportato in Fig. 2-4). Con queste risorse è stato possibile ricostruire l'aspetto delle facciate e delle coperture nei casi di totale o parziale crollo.

Type of Structure		Vulnerability Class A B C D E F					
MASONRY	rubble stone, fieldstone	○					
	adobe (earth brick)	○	—				
	simple stone	○	—				
	massive stone	○	—	○			
	unreinforced, with manufactured stone units	○	—	○			
	unreinforced, with RC floors	○	—	○			
	reinforced or confined	○	—	○			
STEEL REINFORCED CONCRETE (RC)	frame without earthquake-resistant design (ERD)	○	—	○			
	frame with moderate level of ERD	○	—	○			
	frame with high level of ERD	○	—	○			
	walls without ERD	○	—	○			
	walls with moderate level of ERD	○	—	○			
	walls with high level of ERD	○	—	○			
STEEL	steel structures	○	—	○			
	timber structures	○	—	○			

○ most likely vulnerability class; — probable range; ..... range of less probable, exceptional cases

Figura 2-1: Classi di vulnerabilità secondo EMS-98

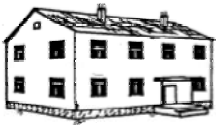
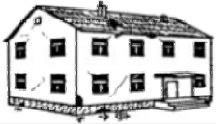



Classification of damage to masonry buildings	
	<b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.
	<b>Grade 2: Moderate damage</b> (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.
	<b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).
	<b>Grade 4: Very heavy damage</b> (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.
	<b>Grade 5: Destruction</b> (very heavy structural damage) Total or near total collapse.

Figura 2-2a: Categorie di danneggiamento per gli edifici in muratura secondo EMS-98






Classification of damage to buildings of reinforced concrete	
	<b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (no structural damage, slight non-structural damage) Fine cracks in plaster over frame members or in walls at the base. Fine cracks in partitions and infills.
	<b>Grade 2: Moderate damage</b> (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in columns and beams of frames and in structural walls. Cracks in partition and infill walls; fall of brittle cladding and plaster. Falling mortar from the joints of wall panels.
	<b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Cracks in columns and beam column joints of frames at the base and at joints of coupled walls. Spalling of concrete cover, buckling of reinforced rods. Large cracks in partition and infill walls, failure of individual infill panels.
	<b>Grade 4: Very heavy damage</b> (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Large cracks in structural elements with compression failure of concrete and fracture of rebars; bond failure of beam reinforced bars; tilting of columns. Collapse of a few columns or of a single upper floor.
	<b>Grade 5: Destruction</b> (very heavy structural damage) Collapse of ground floor or parts (e. g. wings) of buildings.

Figura 2-2b: Categorie di danneggiamento per gli edifici in calcestruzzo armato secondo EMS-98



Questa ricerca ha prodotto la ricostruzione dei perimetri dei diversi edifici, ossia l'unità minima strutturale alla quale sono riferite tutte le informazioni acquisite con il rilievo (Fig. 2-5). Per questi aspetti si rimanda al § 2.5.

Per documentare la ricognizione del danno strutturale e non strutturale degli edifici a seguito del sisma è stata realizzata una componente specifica a integrazione del Sistema Informativo Geografico (GIS) per l'emergenza Abruzzo sviluppato dalla Regione Umbria. A tal fine la Provincia di Perugia, quale componente del Sistema Regionale di Protezione Civile, ha implementato l'esistente Geodatabase centrale, sia lato desktop sia lato web. Maggiori dettagli sono riportati nel Cap. 3.



Figura 2-3: Uno scorcio di Onna prima del terremoto

## 2.5 Analisi dettagliata delle tipologie costruttive, della vulnerabilità e del danno

L'osservazione accurata dei vari aggregati e degli edifici ad essi appartenenti ha consentito di trarre molte informazioni sia sulla vulnerabilità che sul danno. I dettagli di questa fase del lavoro sono riportati in Appendice A.

Inizialmente si è fatto riferimento all'unità minima urbanistica, ossia all'aggregato, per fornire una descrizione generale di:

- caratteristiche plano-altimetriche
- stato di danneggiamento a seguito del sisma
- caratteristiche costruttive generali:
  - murature
  - solai
  - collegamenti tra maschi murari e tra maschi e orizzontamenti



Figura 2-4: Alcune viste aeree tratte dal sito <http://maps.live.com> (immagini Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma)



Figura 2-5: Esempio di perimetrazione degli edifici

Si è passati quindi alle singole unità strutturali (U.S.) che compongono l'aggregato per descrivere i meccanismi di danno o di collasso e le probabili cause del danneggiamento. Tutte queste informazioni sono confluite nell'elaborazione di un "modello del danneggiamento", di cui si parla più diffusamente nel § 2.9.

### 2.5.1 Finalità dell'analisi

Questa parte del lavoro si propone di fornire elementi per l'interpretazione del severissimo stato di danneggiamento che ha colpito gli edifici di Onna a seguito del sisma del 6 aprile 2009.

Tale stato di danno è certamente più grave rispetto a quanto si è verificato in paesi limitrofi quali, ad esempio, Monticchio e Bazzano, e ciò lascia supporre (senza escludere anche fenomeni di amplificazione sismica locale) che la qualità e la tipologia edilizia di Onna abbiano avuto un ruolo rilevante in quella che poi è stata la risposta degli edifici al terremoto.

Dopo una breve nota metodologica, volta a spiegare i criteri di suddivisione dell'abitato in aggregati ed in unità strutturali, i criteri seguiti nell'analisi delle murature e nell'osservazione delle costruzioni, si passa a descrivere le situazioni di maggior interesse strutturale che si sono riscontrate nell'abitato di Onna. In particolare si pone l'accento su alcuni rilevanti situazioni di collasso strutturale o di danneggiamento e su alcune tipologie di elemento strutturale che si presentano con frequenza in Onna. Alcuni aggregati rappresentativi dell'edilizia di Onna sono analizzati in maniera sistematica in tutte le loro U.S. e descritti nell'Appendice A.

### 2.5.2 Suddivisione in aggregati e unità strutturali (U.S.)

L'intero abitato di Onna è stato preliminarmente suddiviso in "aggregati". Questi sono definibili come costruzioni delimitate da spazi aperti su tutti i lati. In totale ad Onna all'interno della zona rossa che delimita l'area di maggior danneggiamento ed interdetta alla pubblica circolazione sono stati individuati 74 aggregati. Fra questi si contano 25 annessi, ossia costruzioni che pur essendo classificate come aggregato in realtà non hanno rilevanza strutturale. Si tratta di pollai, stalle, capanne, etc... Esclusi gli annessi il centro di Onna è suddiviso in 49 aggregati.

Ogni aggregato, a sua volta, è stato suddiviso in "unità strutturali" (di seguito denominate sinteticamente U.S.). Tale concetto, introdotto con la L.R. Umbria n. 18 del 2002 sulla prevenzione sismica e poi ripreso dalle vigenti N.T.C. del 2008 individua in una U.S. una porzione di aggregato con comportamento strutturale unitario (Fig. 2-6).

È necessario suddividere l'aggregato in U.S. in quanto l'aggregato è un oggetto di studio eccessivamente grande e complesso e sarebbe difficile descrivere le cause che ne hanno prodotto il danneggiamento.

In condizioni in cui è possibile un rilievo dell'aggregato, solitamente la suddivisione in U.S. è svolta sulla base di considerazioni riguardanti anche le tipologie di solaio, copertura e

muratura, presenza di cordoli e tirantature, connessioni fra murature confluenti.

La particolarità del caso di Onna, in cui a causa dei crolli non sempre (quasi mai) è possibile un rilievo esatto delle tipologie di orizzontamenti e muratura fa sì che la suddivisione degli aggregati in U.S. è basata prevalentemente su criteri tipologici. In particolare ci si è basati su caratteristiche generali quali l'epoca di costruzione e la tipologia costruttiva e sull'osservazione dei cantonali murari e quindi delle modalità di aggregazione delle U.S. Inoltre, come già detto, si è impiegato il criterio dell'osservazione di fotografie dell'abitato di Onna prima del sisma, distinguendo le varie unità strutturali anche in base alle altezze ed alla planimetria.

### 2.5.3 Gli elementi strutturali

Gli elementi fondamentali che sono stati presi in considerazione nella descrizione delle caratteristiche strutturali e del comportamento sismico degli aggregati sono:

- a) la muratura
- b) i solai e la copertura
- c) le connessioni fra elementi strutturali

Di seguito si riportano alcune note metodologiche riguardanti l'analisi dei tre aspetti menzionati. Maggiori dettagli sono contenuti nella già citata L.R. Umbria n. 18 del 2002 sulla prevenzione sismica.

#### 2.5.3.1 Metodologia di analisi della qualità muraria

La valutazione della qualità muraria viene espressa attraverso un valore numerico denominato Indice di Qualità Muraria (IQM). Tale valore discende dalla osservazione sistematica di alcuni parametri caratteristici della regola dell'arte muraria sui quali il tecnico rilevatore è chiamato ad esprimere un giudizio di rispetto (R), parziale rispetto (PR) oppure di non rispetto (NR).

I parametri sono i seguenti:

- qualità e resistenza degli elementi (pietre o mattoni);
- forma e dimensione degli elementi;
- qualità della malta;
- sfalsamento verticale dei giunti;
- orizzontalità dei filari;
- ingranamento trasversale del muro.



Categoria B:  $8 > \text{punteggio totale} > 4$ . Muratura di media qualità, realizzata secondo alcune indicazioni suggerite dalla “regola dell’arte”. Durante il meccanismo di danno fuori piano si suddivide in più elementi ancora caratterizzati da un comportamento assimilabile ad un corpo rigido; nel suo piano è caratterizzata da una media resistenza alle azioni sismiche.

Categoria C:  $4 \geq \text{punteggio totale} \geq 0$ . Muratura di qualità scadente, non realizzata nel rispetto della “regola dell’arte”, per la quale è prevedibile un meccanismo di collasso che determina la frantumazione dell’opera muraria per azioni fuori piano; è caratterizzata da una scarsa resistenza alle azioni parallele al suo piano.

Nel caso di Onna tale metodologia di analisi della qualità muraria, studiata per casi in cui le costruzioni si presentano integre, è stata applicata al massimo delle sue potenzialità in quanto la gran parte delle murature risulta osservabile sia nei suoi paramenti esterni sia nelle sue sezioni interne.

#### 2.5.3.2 Solai e coperture

L’analisi tipologica di solai e coperture nel caso di Onna è stata eseguita su edifici in gran parte crollati. Ciò ha consentito da un lato il riconoscimento certo di alcuni dettagli che solitamente sono difficilmente osservabili (ad esempio la qualità del calcestruzzo dei cordoli di copertura oppure il tipo di legname utilizzato per le coperture) ma dall’altro lato ha impedito in molti casi il rilievo ed anche la semplice osservazione dei solai posti ai livelli più bassi e, soprattutto, di eventuali livelli interrati con la copertura a volte.

#### 2.5.3.3 Connessioni fra elementi strutturali

Anche per le connessioni fra orizzontamenti e pareti si può ripetere quanto già detto per i solai e le coperture: in una situazione di crolli diffusi risultano osservabili alcuni dettagli altrimenti non visibili, specialmente per quanto riguarda i livelli superiori. Viceversa risultano non più determinabili le tipologie di collegamento presenti ai livelli inferiori delle unità strutturali.

Inoltre va aggiunto, per quanto riguarda i collegamenti e gli incatenamenti, che si sono riscontrate in maniera piuttosto diffusa alcune soluzioni tecnologiche tipiche della realtà abruzzese. In particolare ci si riferisce alle catene in legno con capochiave in acciaio e ai cordoli in legno che venivano chiodati sugli spigoli dell’unità strutturale.

Le connessioni fra pareti murarie confluenti risultano quasi tutte inefficaci a causa delle di-

mensioni delle pietre troppo piccole e della scarsa qualità della malta.

### 2.5.4 Ricognizione delle tipologie strutturali

#### 2.5.4.1 Murature

La tipologia muraria che si è osservata più frequentemente ad Onna è rappresentata in Fig. 2-8. Di seguito si riporta l’analisi della qualità di tale muratura con la metodologia spiegata nella parte introduttiva. L’esito dell’analisi di qualità muraria conduce ad una muratura di scarsa qualità con Indice di Qualità Muraria pari a 0,5 e di categoria C, ossia soggetta a sgretolamento e non in grado di mantenere un comportamento monolitico.

Si riporta di seguito il dettaglio della valutazione della qualità muraria.

- Qualità e resistenza degli elementi (pietre o mattoni).
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell’arte: R.
  - Le pietre sono prevalentemente provenienti dal vicino fiume oppure da materiale di recupero di antichi crolli. La loro resistenza appare sufficiente in rapporto ai carichi portati e nel complesso le pietre appaiono non alterate o rovinate.
  - Si sono osservati pochissimi mattoni sebbene nella zona di Onna fossero presenti in passato due fornaci per la cottura di laterizi. Esse, dalle informazioni che è stato possibile reperire, si occupavano della fabbricazione di coppi per le coperture.

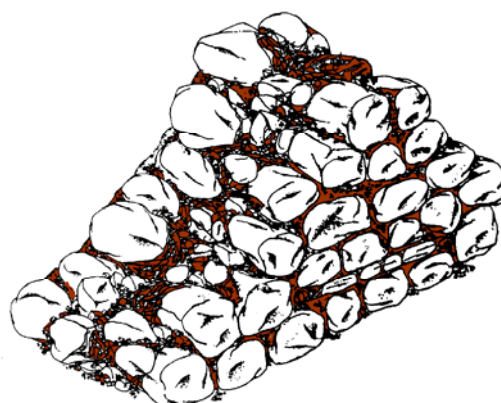


Figura 2-8. Muratura più diffusa ad Onna. Muratura in pietrame a sacco con malta pulvirulenta. È opportuno ricordare che si sono osservate anche tipologie murarie con pietre di dimensione minore e, in alcuni casi sporadici, edifici in blocchi squadrati.



- Forma e dimensione degli elementi.
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell'arte: NR. Punteggio: 0,5.
  - La muratura si compone prevalentemente di pietre di dimensioni medio - piccole, il lato maggiore mediamente misura circa 20 cm. La forma è irregolare tendente ad avere spigoli arrotondati. La faccia più piatta della pietra, se presente, veniva orientata verso il paramento esterno. Le facce sui due piani orizzontali sopra e sotto ogni singola pietra non presentano alcuna orizzontalità e ciò impedisce il corretto e regolare appoggio delle pietre l'una sull'altra, riducendo il beneficio dell'attrito e favorendo lo scivolamento delle pietre l'una sull'altra.
  - Tale carenza costruttiva della muratura, che conduce ad una sua disgregazione in caso di azione sismica, non è stata corretta tramite l'apparecchiatura dei giunti fra le pietre. Infatti gli spazi fra i giunti tra le pietre maggiori sono riempiti con ciottoli di dimensione molto minore oppure colmati con malta che, dopo il terremoto, non è più osservabile.
  - Il riempimento, presente soprattutto ai due livelli più bassi degli edifici, è in materiale incoerente, ciottoli, malta polverulenta, detriti, terra. Lo spessore del riempimento è paragonabile allo spessore delle cortine esterna ed interna e pertanto esso costituisce una notevole massa all'interno delle due fodere murarie, in grado di spingere non solamente in presenza di azione sismica.
- Qualità della malta.
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell'arte: NR. Punteggio: 0.
  - Le malte osservate ad Onna nella maggior parte delle costruzioni si sono rivelate inefficaci sia nella loro funzione di legante sia nella loro funzione di riempimento dei giunti verticali e regolarizzazione dei piani di posa orizzontali.
  - Si può sintetizzare l'insieme delle osservazioni distinguendo tre tipologie di malta in base a colore e consistenza:
    - Malta di colore marrone – rosso (Fig. 2-9). Si tratta di malta presumibilmente realizzata con materiale proveniente dai depositi limosi ed argillosi in prossimità del fiume. Il potere adesivo è pressoché nullo, i granuli sono di piccolo diametro ed essa è facilmente dilavabile dagli agenti atmosferici. A seguito del terremoto (ma si presume anche prima del terremoto) tale malta è totalmente polverizzata. Si tratta di una malta incontrata di frequente nell'analisi delle costruzioni di Onna.
    - Malta di colore giallastro (Fig. 2-10). È una malta con scarso potere legante e totalmente polverulenta. La sua probabile provenienza è da un deposito con presenza di solfati.
    - Malta di colore grigio (Fig 2-11). È una malta di qualità non ottima ma che comunque risulta migliore delle due tipologie descritte in precedenza. Di provenienza probabile da una cava, essa ha una limitata diffusione in Onna ed è stata osservata solo in poche costruzioni.
- Sfalsamento verticale dei giunti;
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell'arte: NR. Punteggio: 0.
  - I giunti verticali non appaiono sfalsati se non debolmente ed in maniera casuale, senza una consapevole ricerca di questo principio della regola dell'arte. Inoltre, anche quando questi siano debitamente sfalsati, ciò è vanificato dalla dimensione delle pietre troppo piccola che non è in grado di garantire un adeguato effetto di incastro fra le pietre né un sufficiente ingranamento nel piano di maggiore resistenza della parete.
- Orizzontalità dei filari;
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell'arte: NR. Punteggio: 0.
  - In alcune occasioni si sono osservate murature costruite per cantieri successivi a distanze di circa 60-100 cm di altezza ed è stato possibile riconoscere le banche orizzontali nella trama caotica dei paramenti esterni. Tuttavia si tratta di eccezioni diffuse soprattutto nelle parti inferiori delle murature del piano terra (circa 1,5 – 2 metri) , probabilmente ricostruite sulla posizione di antiche mura crollate e con lo stesso materiale.
  - Nella maggior parte dei casi, invece, l'orizzontalità dei filari è quasi assente. Ciò limita la corretta trasmissione dei carichi verticali a terra, causando concentrazioni di tensione solo in alcuni punti della muratura ed impedendo la formazione di cerniere orizzontali di rotazione nella muratura.



Figura 2-9: Malta di colore marrone – rosso



Figura 2-10: Malta giallastra



Figura 2-11: Malta di colore grigio

- Ingranamento trasversale del muro.
  - Giudizio di rispetto del parametro della regola dell'arte: NR. Punteggio: 0.
  - I muri della tipologia rappresentata in Fig. 2-8 sono del tutto sprovvisti di collegamento trasversale. Gli spessori eccessivi delle pareti, anche al secondo piano, rendono impossibile l'adozione di

“diatoni” (pietre passanti da parte a parte nello spessore murario). La configurazione “a sacco” della muratura riduce la possibilità di un ingranamento fra le due fodere murarie tramite pietre trasversalmente ingranate anche se non passanti da parte a parte del muro (semi-diatoni).

- La conseguenza è che la maggior parte dei muri di Onna sono, come in altri centri storici d'Italia, formati da un paramento esterno di spessore orientativamente pari a 20-30 cm scollegato dagli orizzontamenti, un riempimento interno (20-30 cm di spessore), in molti casi dannoso perché esercita una spinta contro i paramenti ed una fodera interna di spessore 15-30, su cui si appoggiano solai e copertura.

#### 2.5.4.2 Solai e coperture e loro collegamento alle pareti

- Solaio di ferro e laterizio con tavelle (Fig. 2-12).
  - Utilizzato diffusamente come solaio di interpiano (primo o secondo solaio) e come sottotetto. I travetti in acciaio possono risalire a qualche decennio (“rotaie”) oppure essere più moderni. Spesso sono del tutto sprovvisti di cordolo o di altri dispositivi di collegamento alle pareti, anche quando il solaio è realizzato in epoca recente. La soletta superiore solitamente non presenta rete di armatura.
- Solaio di acciaio con voltine in laterizio (Fig. 2-13).
  - Meno frequente della tipologia di solaio precedente, tuttavia si trova con la stessa funzione: solaio d'interpiano o di sottotetto. Anch'esso è spesso privo di cordolo o altro dispositivo di collegamento e di armatura nella soprastante soletta.
- Volte (Fig. 2-14).
  - Si trovano talvolta al livello più basso o interrato della costruzione a coprire scantinati, antiche stalle e depositi. Spesso sono costruite in serie. Sono quasi sempre volte a botte in pietra dello spessore di circa 20-25 cm. Quando sono in mattoni lo spessore è di due teste. Sono stati osservati casi sia con generatrici ortogonali alla strada sia parallele. Il riempimento è con terra e detriti e arriva a sovrastare l'estradosso della chiave di circa 5 cm. Le volte osservate non presentano forature e lunettature.

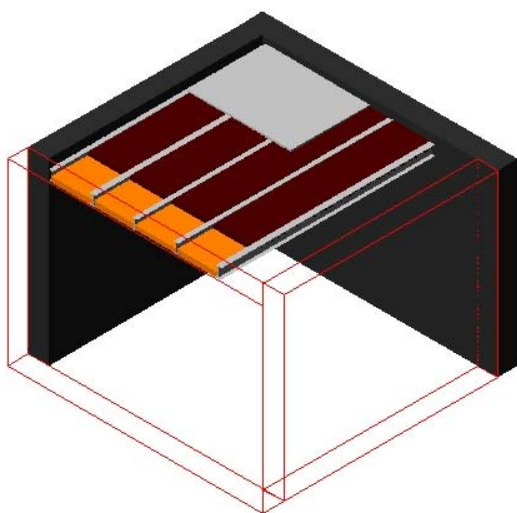


Figura 2-12: Solaio di ferro e laterizio con tavelle

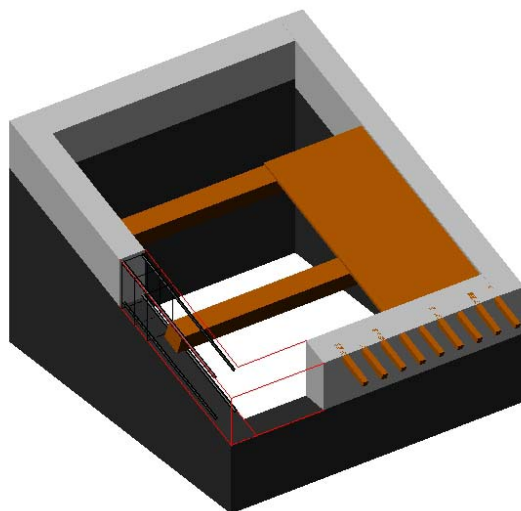


Figura 2-15: Copertura in legno ad orditura semplice con cordolo

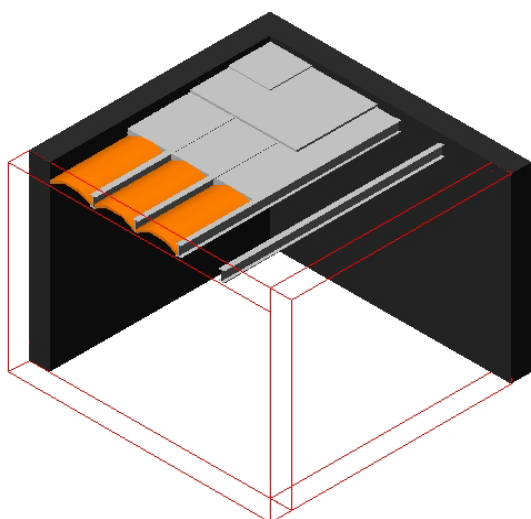


Figura 2-13: Solaio di acciaio con voltine in laterizio

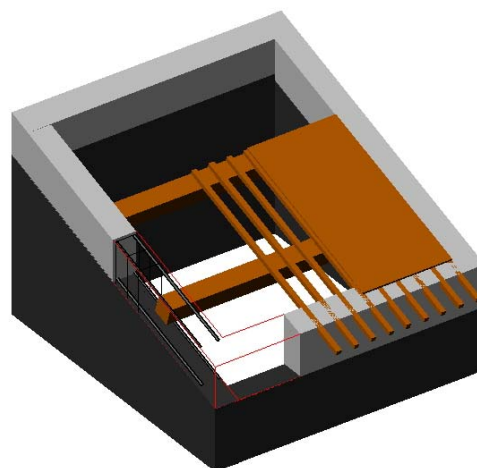


Figura 2-16: Copertura in legno a doppia orditura con cordolo

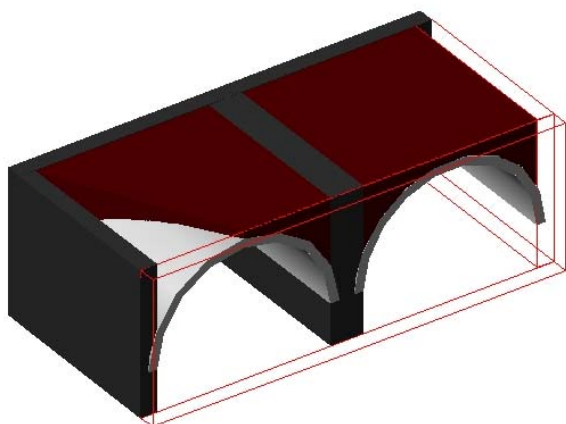


Figura 2-14: Volte in serie

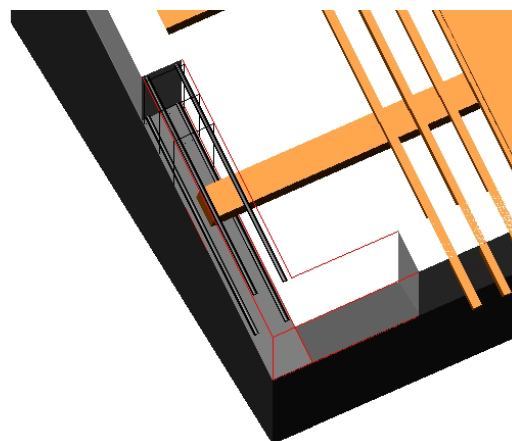


Figura 2-17: Dettaglio dell'ammorsamento fra trave in legno e cordolo in c.a.

- Copertura in legno con cordolo (Figg. 2-15, 2-16 e 2-17)
  - Presente nelle due varianti a semplice orditura con tavolato e a doppia orditura con tavolato in legno. Nella maggior parte dei casi si è osservata una tessitura in direzione non spingente. Le travi sono di luci e sezioni ordinarie ( $L = 5$  metri circa; sezione =  $25 \times 25$  cm circa). La caratteristica di tali coperture è che le travi principali, quelle secondarie (quando presenti) e i vergoli della gronda in legno entrano profondamente nel cordolo in c.a. andando ad interromperne la sezione. Il cordolo risulta di grande rigidità a causa di sezioni molto grosse (altezza circa 40-50 cm e base pari o di poco inferiore allo spessore del muro). Le armature spesso difettano di sovrapposizione e di ancoraggio ed hanno staffatura non sempre sufficiente. La modalità di crisi più frequentemente osservata su tali cordoli è la rottura della sezione dove si inserisce la trave in legno o i travetti quando c'è l'orditura secondaria (Fig. 2-18).

#### 2.5.4.3 Incatenamenti e connessioni fra elementi strutturali

##### **Collegamenti fra solai d'interpiano in acciaio o in legno e pareti**

In molti casi il collegamento fra i solai d'interpiano e le pareti è carente. Le travi sono semplicemente infilate nella muratura senza ammorsamento.

Ciò si è osservato anche nel caso di solai sostituiti in epoca relativamente recente.

Il collegamento fra coperture e pareti sottostanti è stato trattato in precedenza quando sono stati descritti i cordoli in cemento armato di recente realizzazione sulle coperture. Qui rimane da aggiungere solamente che la funzione di collegamento fra copertura e pareti e quella di trasmissione delle azioni orizzontali è stata vanificata soprattutto a causa della scarsa qualità della muratura sotto il cordolo che si è disgregata.

Inoltre bisogna notare la presenza, piuttosto diffusa, di catene d'acciaio, alcune risalenti a prima della seconda guerra mondiale, probabilmente come interventi di riparazione a seguito del sisma del 1915. L'efficacia delle catene dipende però dalla qualità muraria: ad Onna in molti casi le catene non hanno avuto la possibilità di esplicare la loro azione in quanto si è prima disgregata la muratura circostante. È frequente osservare catene in acciaio e relativi capichiave rimasti sospesi sopra murature crollate.

##### **Cordoli in legno**

Si tratta di un presidio antisismico osservato di frequente ad Onna e derivante da una evoluzione delle Norme Tecniche vigenti negli anni '10 e '20. Si riporta, a titolo di esempio, uno stralcio del R.D.L. 29.04.1915 n. 573, Norme tecniche ed igieniche da osservarsi per i lavori edilizi nelle località colpite dal terremoto del 13 gennaio 1915 (sisma abruzzese).

*Gli edifici debbono essere costruiti con (...) sistemi tali da comprendere un'ossatura (...) di muratura animata.*

*È ammessa l'ossatura di membrature di legno, purché bene stagionato, per le case col solo pianterreno.*

*Le ossature devono formare un'armatura completa di per sé stante dalle fondamenta al tetto, saldamente collegata con le strutture orizzontali portanti (solai, terrazzi, tetti), e che sia od immersa nel materiale formante parete o lo contenga nelle sue riquadrature, oppure lo racchiuda nelle sue maglie e sia con esso saldamente collegata.*

Norme simili sono state riprese dal R.D.L. 13.03.1927 n. 431, Norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dai terremoti.

Ad Onna i cordoli sono in legno di sezione circolare e di diametro fra i 10 ed i 20 cm. Essi sono collegati sugli angoli o tramite un semplice chiodo (Figg. 2-19, 2-20 e 2-21) o anche tramite una indentatura.

Il comportamento sismico di tali antichi presidi è stato insoddisfacente in quanto essi hanno introdotto un elemento di forte discontinuità e debolezza all'interno di murature già precarie. Inoltre va detto che probabilmente il legno a distanza di anni si è deteriorato perdendo le sue capacità di resistenza.

##### **Catene in legno**

Si tratta di elementi in legno ad asse orizzontale inseriti dentro le murature al centro della loro sezione. Il diametro della sezione lignea approssimativamente circolare è pari a circa 10-20 cm. Tali elementi lignei terminano con un capochiave in ferro uguale a quello delle catene metalliche ordinarie. Il capochiave solitamente è collegato all'estremità lignea della trave mediante fascette metalliche chiodate inserite in un intaglio realizzato sull'estremità della trave in legno (Figg. 2-22 e 2-23).





Figura 2-18: Ammorsamento fra un travetto ed il cordolo in c.a: interruzione di sezione del cordolo.



Figura 2-21: “Anima” verticale in legno emergente da un pannello murario crollato



Figura 2-19: Angolo di cordolo in legno.



Figura 2-22: Catena in legno con capochiave in ferro



Figura 2-23: Piatto metallico di connessione fra legno e capochiave.



Figura 2-20: Dettaglio della chiodatura d'angolo di un cordolo in legno spezzato.



Figura 2-24: Angolata in blocchi squadrati annegata nella muratura di scarsa qualità.

Fra i problemi osservati relativamente a tali elementi di presidio premoderni se ne segnalano due: in primo luogo l'elemento orizzontale ligneo interrompe la già precaria continuità della massa muraria favorendo la formazione di cerniere di rotazione per ribaltamenti e pressoflessioni; in secondo luogo l'efficacia del dispositivo a trattenere la parete è a volte vanificata dallo stato di deterioramento dell'estremità lignea della trave.

### **Angolate e martelli murari**

La gran parte delle angolate rilevate ad Onna sono composte da pareti sconnesse o perché edificate sin dall'inizio come corpi scollegati oppure a causa della dimensione delle pietre non sufficiente a garantire l'ingranamento fra le pareti.

In alcuni edifici si notano, rimasti in piedi, degli spigoli con pietre di dimensione maggiore, squadrate e disposte a pettine (Fig. 2-24). Tuttavia pochi decimetri dopo tale angolare si ha una ripresa della muratura di qualità inferiore e pertanto la connessione fra le due pareti confluenti nell'angolo è da ritenersi assente.

#### *2.5.4.4 Interventi moderni di consolidamento*

### **Sostituzione di copertura esistente con nuova copertura in legno e tavolato**

Poiché si è già parlato diffusamente di questo intervento qui se ne ricordano solamente le caratteristiche essenziali. La nuova copertura viene realizzata su un cordolo in c.a. di grande sezione (altezza circa 40-50 cm, base pari alla larghezza del muro) solitamente armato con 4Φ16. Le staffe sono piuttosto rade (mediamente una ogni 30 cm ma anche di più).

Talvolta s'è usato calcestruzzo alleggerito. Le travi ed i travetti in legno entrano nella sezione del cordolo e la interrompono; spesso ne hanno causato la rottura (Fig. 2-25). Talvolta si sono osservate lunghezze di sovrapposizione ed ancoraggi sugli angoli del cordolo non realizzati a regola d'arte e che non hanno funzionato in presenza dell'azione sismica. La muratura sottostante il cordolo non veniva consolidata e rimaneva di qualità insufficiente.

### **Inserimento di telai in c.a. dentro l'edificio in muratura**

Tale tipologia costruttiva è stata osservata più di una volta in Onna. Si tratta di edifici originariamente in muratura dei quali è stata conservata la muratura al piano terra. All'interno della struttura in muratura veniva costruito un telaio in c.a. alto due o tre piani ed arretrato per circa 80-100cm rispetto al filo esterno della muratura originaria (Fig. 2-26). Dalle travi esterne del primo impalcato parte una soletta a sbalzo

(come un balcone) che termina sopra la parete in pietrame che si è conservata. Ai livelli superiori le tamponature sono nuove, in laterizio, e sono vincolate al telaio anch'esse tramite sbalzi che partono dalle travi del telaio. Strutture siffatte si sono danneggiate ma senza crolli rovinosi. Un danno tipico che si è osservato è il distacco delle tamponature esterne dagli sbalzi del telaio.

### **Intonaco armato**

In alcuni casi è stata rinforzata la parete in muratura mediante intonaco armato (Figg. 2-27, 2-28 e 2-29). La risposta al sisma di tali pareti è variabile: in alcuni casi s'è verificato il crollo della parete, in altri casi invece le murature hanno resistito. Si è osservato come i fogli di rete elettrosaldata, disposti su un solo lato della parete, spesso non sono adeguatamente sovrapposti e collegati ai vari piani. Poi va notato che in alcuni casi i perfori di collegamento non erano in numero sufficiente. Infine in tutti i casi visionati la rete elettrosaldata non è stata risvoltata sugli angoli murari.

Nella Fig. 2-27 si vede il ribaltamento della parete con intonaco armato in fase di esecuzione. Il foglio di rete superiore è scollegato a quello inferiore. Le armature nei perfori di collegamento dovevano ancora essere fissate, probabilmente doveva ancora essere disposto il foglio di rete elettrosaldata interno.

Nella Fig. 2-28 si nota la qualità muraria non adatta all'intervento di intonaco armato da un solo lato della parete. Anche in questo caso si trattava di un intervento in fase di esecuzione, ma questo era terminato dal punto di vista strutturale.



Figura 2-25: Aggregato 4902686. Copertura realizzata nel 2007. Sono cerchiare in rosso le interruzioni del cordolo dovute agli innesti delle travi in legno.





Figura 2-26: Aggregato 4902683. Evidenziate in rosso le membrature del telaio in c.a. arretrato rispetto al filo della muratura.



Figura 2-27: Aggregato 4903565. Ribaltamento di parete con intonaco armato in fase di esecuzione



Figura 2-28: Aggregato 4902683. Intonaco armato su muratura di qualità non adeguata.



Figura 2-29: Intonaco armato eseguito solo parzialmente. Si tratta dell'aggregato 4902686 e l'intervento è stato eseguito nel 2007. Nella porzione in basso a destra della parete è stata lasciata la pietra a vista senza completare la fasciatura con la rete elettrosaldata e l'intonaco armato.



Figura 2-30: Aggregato 4902634 (chiesa). Dettaglio di intervento con perforazioni armate sul campanile.



Figura 2-31: Edificio 4902687 con ultimo livello sopraelevato e due piani inferiori in pietrame consolidati con intonaco armato. La disgregazione della muratura dei due piani sottostanti ha causato il collasso dell'edificio.



Figura 2-32: Edificio 4902644. Piano terra in pietra-  
me è crollato trascinandosi dietro, come blocco rigi-  
do, il primo piano in blocchetti.



Figura 2-33: Edificio 4903444, prima e dopo il sisma. Edificio nuovo in laterizio affiancato ad un edificio esistente in blocchi e pietra-  
me con sopraelevazione. La complessità della situazione strutturale, unitamen-  
te alla insufficiente ampiezza del giunto sismico fra i due corpi, ha portato ad un fenomeno di martellamen-  
to. Nelle fotografie si confronta la situazione ante sisma con quella attuale.

### Perfori armati e iniettati con malta cementi- zia

È difficile ricostruire tale intervento: in Fig. 2-30 si vede una delle tante pietre finite in terra

fra le macerie originariamente appartenenti al campanile della chiesa.

La chiesa, consacrata a S. Pietro Apostolo, di impianto romanico, risale al 1200-1300 mentre la facciata è di fine 1400. Nel 1895 la chiesa viene ampliata con l'inglobamento della Congregazione della Madonna delle Grazie, posta alla destra della facciata. Restauri nel 1849, dopo il sisma del 1915, nel 1956 (tetto in legno) e infine nel 1997. Presumibilmente i perfori armati in figura risalgono a quest'ultimo restauro.

### Sopraelevazioni. Interazioni con edifici nuovi costruiti a ridosso

In alcuni casi sono state osservate sopraelevazioni in blocchi semipieni di laterizio realizzate su murature in pietra-  
me. I tre casi osservati e descritti nelle Figg. 2-31, 2-32 e 2-33 si riferiscono ad edifici crollati to-  
talmente.

### 2.5.5 Tipologie di danneggiamento più fre- quenti

Il danneggiamento degli edifici di Onna è molto elevato ed è esteso su gran parte del terri-  
torio cittadino. Il fatto che si siano verificati pre-  
valentemente crolli rende in molti casi impossi-  
bile comprendere quale sia stato il meccanismo che ha causato il collasso dell'edificio.

La causa principale dei crolli di Onna è ri-  
conducibile alla cattiva qualità muraria, in parti-  
colare:

- l'inefficacia della funzione legante e di regolarizzazione della malta
- la mancanza di pietre o mattoni o blocchi dotati di facce orizzontali sui due piani d'appoggio, quello superiore e quello infe-  
riore.

Una muratura di questo genere non tende a collassare dando luogo a una catena cinematica: è noto che affinché si possa formare una catena cinematica almeno gli "anelli" della catena de-  
vono mantenere un comportamento monolitico. La muratura di Onna si è disgregata. Gli elemen-  
ti si sono licenziati l'uno dall'altro favoriti dalla loro forma, dall'assenza di potere adesivo della malta, dalle spinte interne dovute alla massa (in certi casi non trascurabile) dei riempimenti in-  
terni.

Una prova indiretta di quanto affermato si deduce osservando gli edifici (pochi) che si sono solamente danneggiati, senza crollare. Si tratta di edifici bassi, regolari, di un solo piano (garage, annessi) o di edifici la cui struttura portante è in c.a. o di edifici in blocchi squadrati, oppure di edifici che hanno beneficiato di un effetto di schiera essendo contraffortati da altre costruzioni



adiacenti. Infine risultano significativi quei casi di edifici in muratura che hanno resistito al crollo probabilmente perché era stato realizzato qualche intervento sulle malte: in particolare si cita l'unità strutturale dell'aggregato 4902682 su cui era stata eseguita una stilatura dei giunti con malta cementizia e un edificio dell'aggregato 4902683 in cui era stato terminato un intervento con l'intonaco armato che, evidentemente, ha comportato anche un buon rinforzo della malta della muratura (si pensi alle iniezioni nei perfori di collegamento).

Una ulteriore riflessione meritevole di approfondimento riguarda l'inefficacia dei dispositivi di collegamento e connessione fra elementi strutturali quando la muratura non sia di qualità adeguata. Catene, cordoli, coperture leggere, intonaci armati etc. sono risultati sostanzialmente inefficaci perché applicati su muratura povera.

Fra gli edifici che non hanno subito il crollo per disgregazione della muratura si riconoscono i classici meccanismi di collasso descritti in letteratura. Risultano largamente prevalenti i meccanismi fuori piano su quelli di piano, cioè soprattutto a causa della inefficienza dei collegamenti di solai e copertura con le pareti.

Si nota la corrispondenza fra le condizioni di vincolo ed il tipo di meccanismo che si è attivato. Se le pareti sono scollegate sia al livello di solaio che al livello di copertura si ha il ribaltamento fuori piano dell'intera facciata (Fig. 2-34). Il ribaltamento si verifica con trascinamento di un cuneo di spina se è presente l'ammorsamento fra quest'ultimo e la parete che ribalta, e l'ampiezza del cuneo trascinato è tanto maggiore quanto migliore è la qualità muraria del muro di spina (si sono osservati cunei di spina piuttosto piccoli ad Onna).

Se è presente il collegamento in copertura allora si verifica il meccanismo per pressoflessione, i cui sintomi sono dati dallo spanciamento della parete (Fig. 2-35). Nella murature a doppio paramento talvolta si osserva l'espulsione del solo paramento esterno.

Nei casi in cui in copertura è presente un cordolo in c.a. e le ammorsature coi muri di spina sono di discreta fattura, allora il meccanismo per pressoflessione si manifesta col trascinamento del cuneo di spina della parete ortogonale. Se la copertura è sufficientemente stabile da un punto di vista meramente geometrico, a volte rimane sospesa, a sbalzo, appoggiata sulle mura-  
ture non ribaltate.

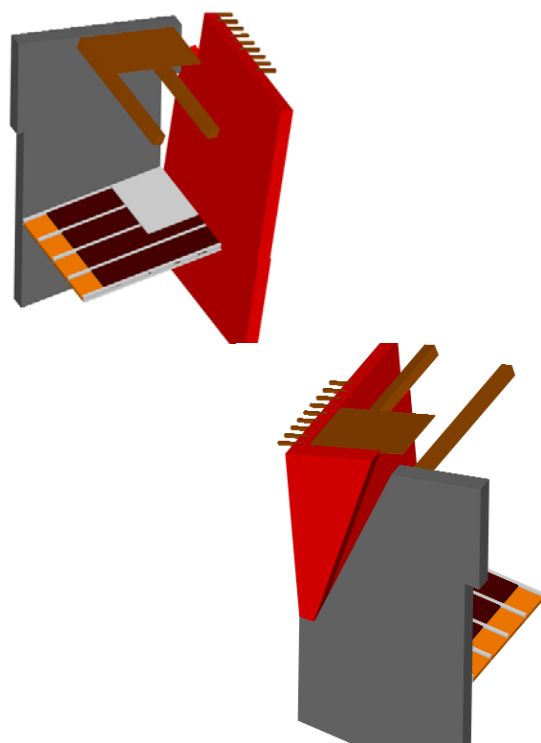


Figura 2-34: Esempi di meccanismi di collasso in assenza di vincolo fra la copertura e le pareti: ribaltamento semplice e ribaltamento con cuneo di spina.

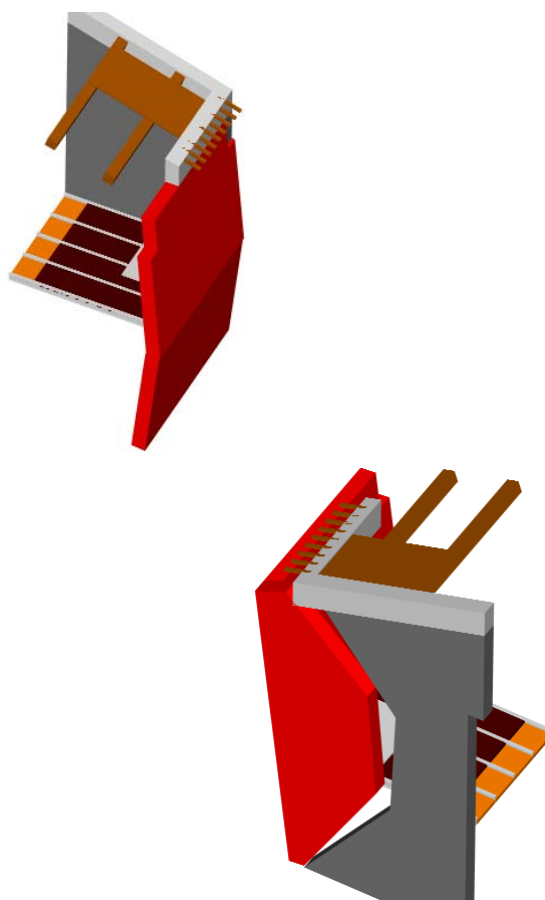


Figura 2-35: Esempi di meccanismi di collasso in presenza di cordolo di copertura: pressoflessione verticale e ribaltamento con cuneo di spina..

Infine va notato che alcuni edifici si sono danneggiati per azioni nel piano delle pareti. Tale tipologia di danneggiamento, che non ha causato crolli per quanto s'è visto ad Onna, si è manifestata con lesioni a croce o lesioni di scorrimento, su edifici in blocchi o su edifici inseriti in un contesto di schiera.

### 2.5.6 Effetti cosismici

Nell'ambito delle attività di rilievo del danno, effettuato con sopralluoghi all'interno del centro abitato di Onna, è stata portata avanti anche l'osservazione di eventuali effetti cosismici al suolo. Tra questi in particolare ci si aspettava di osservare campi di fratturazione quali quelli evidenziati nelle frazioni limitrofe di Paganica e Bazzano. Bisogna premettere che le attività di rilevamento ad Onna sono state effettuate a partire dal 22 maggio 2009, oltre 45 giorni dopo il principale evento sismico. Inoltre nella zona del centro abitato vi è stato un pesante rimaneggiamento delle macerie lungo le vie principali per il recupero delle vittime e le altre vie risultano completamente ostruite dalle macerie o non praticabili a causa del pericolo di crollo delle porzioni di edifici rimasti in piedi.

Tale contesto potrebbe aver mascherato o occluso sul terreno eventuali segni di fratture di piccolo spessore di fatto non rilevati. Relativamente a possibili fenomeni di frattura propagati sulle murature dei fabbricati, non sono stati osservati segni riconducibili a tale fenomeno sugli edifici rimasti in piedi. Nei rimanenti casi la pessima qualità della muratura ha fatto sì che i meccanismi di collasso o ribaltamento dei muri siano stati prioritari rispetto a ogni altro possibile fenomeno legato al terreno. Si segnala, infatti, anche la verosimile assenza di cedimenti fondali (salvo un possibile caso di non chiara interpretazione).

### 2.6 Valutazione dell'intensità macrosismica

La compilazione della scheda descritta nel § 2.3 consente una valutazione dell'Intensità macrosismica secondo EMS-98. Di seguito si riporta una descrizione dei livelli più interessanti ai fini del danneggiamento. Ai fini della valutazione della percentuale di edifici per ogni categoria di danno viene fornito lo schema di Fig. 2-36.

## VII. Dannoso

a) La maggior parte delle persone viene spaventata e cerca di correre all'esterno. Molte persone non riescono a stare in piedi, specialmente ai piani alti.

b) I mobili si spostano e quelli sbilanciati possono cadere. Oggetti cadono in grande numero dagli scaffali. L'acqua schizza fuori da recipienti, cisterne e piscine.

c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.

Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

Pochi edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 2.

Pochi edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 1.

## VIII. Fortemente dannoso

a) Molte persone non riescono a stare in piedi persino all'aperto.

b) I mobili possono rovesciarsi. Oggetti come televisori, macchine da scrivere, etc. cadono per terra. Occasionalmente lapidi possono essere spostate, girate o capovolte. Possono apparire ondulazioni in terreni molto soffici.

c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.

Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

Pochi edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 2.

## IX. Distruttivo

a) Panico generale. Persone possono venire scaraventate a terra.

b) Molti monumenti e colonne cadono o si girano. Si osservano ondulazioni su terreni soffici.

c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.

Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

Pochi edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 2.

## X. Molto distruttivo

c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.

Molti edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

Pochi edifici di classe di vulnerabilità F subiscono danni di grado 2.

## XI. Devastante

c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 5.

La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 4; molti di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.

Molti edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.

Molti edifici di classe di vulnerabilità F subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

## XII. Completamente devastante

c) Tutti gli edifici delle classi di vulnerabilità A e B e praticamente tutti quelli di classe di vulnerabilità C vengono distrutti. La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità D, E ed F vengono distrutti. Gli effetti del terremoto raggiungono i massimi concepibili.

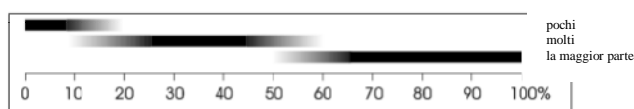


Figura 2-36: Definizione delle quantità secondo la scala macrosismica EMS-98

Tabella 2-2: Numero di edifici del campione per classe di vulnerabilità e per livello di danno

Danno	Classe di vulnerabilità (%)						NR
	A	B	C	D	E	F	
D0		1	17	3	5		5
D1	1	1	9	1	2	3	4
D2		7	3				
D3	4	9	2	1	3		
D4	24	21	2	2			
D5	95	17	7				1
NR							1

Tabella 2-3: Distribuzione percentuale del danno per classe di vulnerabilità

Danno	Classe di vulnerabilità (%)						NR
	A	B	C	D	E	F	
D0		2	43	43	50		45
D1	1	2	23	14	20	100	36
D2		13	8				
D3	3	16	5	14	30		
D4	19	38	5	29			
D5	77	30	18				9
NR							1

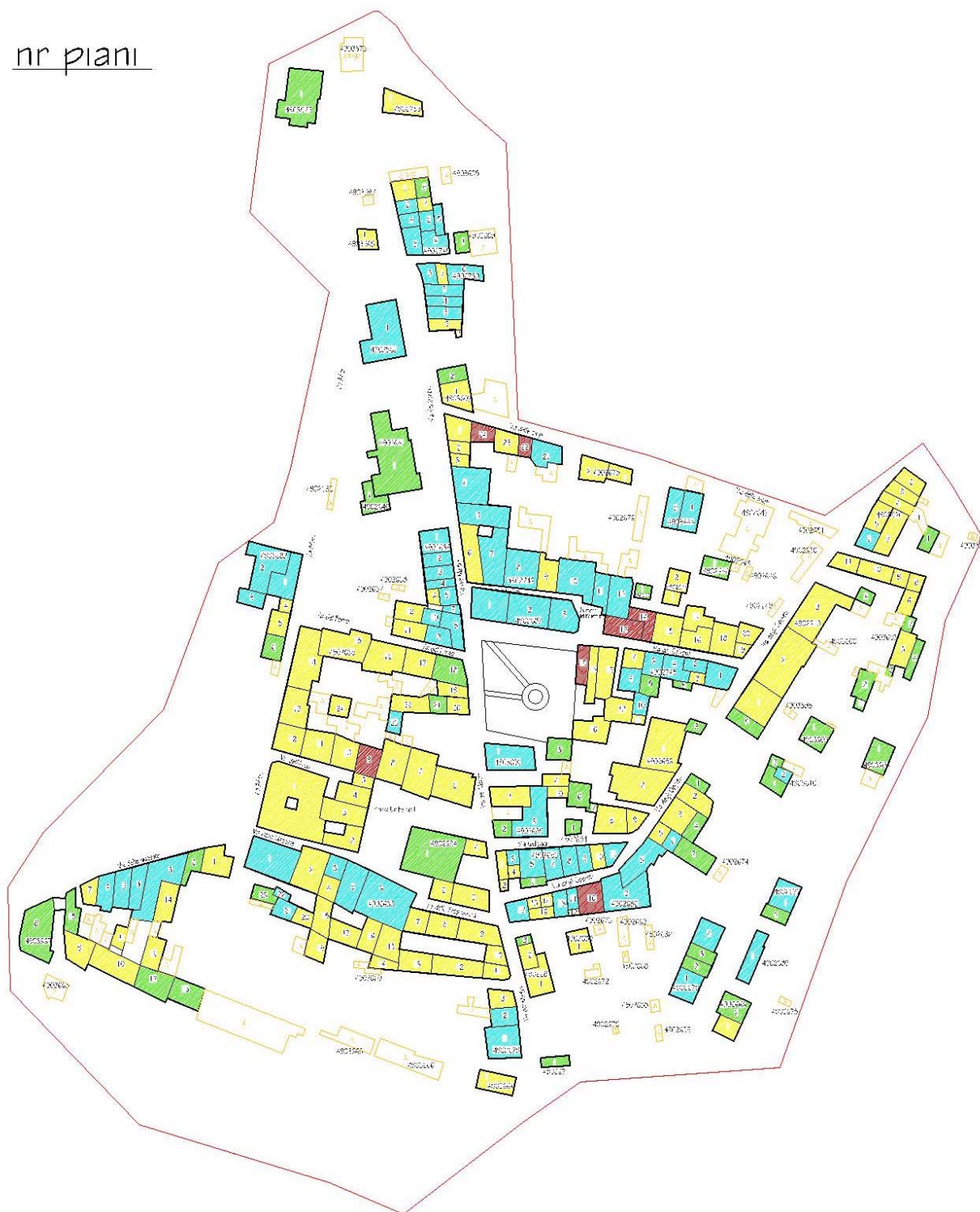
Il rilievo che è stato effettuato consente di costruire le Tabb. 2-2 e 2-3, dalle quali scaturisce che l'Intensità EMS-98 è X grado. Per effettuare questa stima sono stati considerati gli edifici di classe di vulnerabilità A e B, in quanto contengono un numero di edifici statisticamente rappresentativo. Comunque, anche considerando la classe di vulnerabilità C, sebbene rappresentata da un numero più limitato di edifici, si ottiene un valore di Intensità del X grado EMS98.

Le Figg. 2-39 e 2-40 riportano la distribuzione del danno per la classe di vulnerabilità A e B. Bisogna avvertire che in alcuni casi non è stato possibile, a causa dello stato di danno che impediva un'analisi strutturale accurata, attribuire una classe di vulnerabilità all'U.S. Si osserva che l'Intensità EMS-98 così stimata può essere considerata in buon accordo con quella riportata per questo terremoto nel § 1.3 (Intensità MCS IX-X). La modesta discrepanza tra le stime può essere spiegata considerando che l'Intensità MCS è stata attribuita subito dopo l'evento ed ha tenuto conto anche degli edifici fuori della zona centrale, mentre quella EMS-98 è stata valutata a 8 settimane dall'evento (periodo in cui si sono verificati molti eventi di magnitudo maggiore di 4, che possono avere peggiorato lo stato del danneggiamento) ed è stata limitata agli edifici del centro, dove è massimo il danneggiamento.

Nelle Figg. da 2-37a a 2-37c si riporta la distribuzione spaziale di alcuni parametri ottenuti con il sopralluogo. Le stesse informazioni sono riportate più avanti in alcune tabelle e grafici di sintesi.

Nelle Figg. 2-37d e 2-38 è possibile visualizzare la distribuzione spaziale nella zona rossa di Onna delle classi di vulnerabilità e dei livelli di danneggiamento. Non si nota la concentrazione del danno in zone ristrette e si nota un'ottima correlazione tra vulnerabilità e danno, indizio questo di scuotimento pressoché uniforme su tutta l'area analizzata.

nr piani



Legenda



Figura 2-37a: Distribuzione spaziale del numero di piani





Legenda:

<span style="color: blue;">■</span> 1 - Calcestruzzo armato	<span style="color: red;">■</span> 4 - Volte
<span style="color: green;">■</span> 2 - Legno	<span style="color: yellow;">■</span> 5 - Varie
<span style="color: orange;">■</span> 3 - Acciaio e voltine o tavelloni	<span style="color: grey;">■</span> n.r.

Figura 2-37b: Distribuzione spaziale della tipologia di elementi orizzontali prevalenti (n.r. significato non rilevato)

## tipologia verticale



Legenda:

<span style="background-color: blue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> A – Pilastri c.a.	<span style="background-color: green; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> E - Muratura blocchi
<span style="background-color: cyan; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> B – Setti c.a.	<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> F - Mista
<span style="background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> C – Muratura later.	<span style="background-color: grey; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> n.r.
<span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> D – Muratura pietr.	

Figura 2-37c: Distribuzione spaziale della tipologia di elementi verticali prevalenti (n.r. significato non rilevato)



vulnerabilità



Legenda:



Figura 2-37d: Distribuzione spaziale della classe di vulnerabilità (n.r. significato non rilevato)



## Livello di danno



Legenda:



Figura 2-38: Distribuzione spaziale dei livelli di danno (n.r. significa non rilevato)

Una interpretazione molto interessante del danneggiamento può essere effettuata ricorrendo alle matrici di probabilità di danno (Braga et al., 1982). In questo caso si utilizzano le classi di vulnerabilità A e B, come le più rappresentative degli edifici secondo EMS-98 a Onna. Nella Fig. 2-39 e nella Fig. 2-40 si riportano le distribuzioni, ricavate nel lavoro citato per il terremoto dell'Irpinia-Basilicata del 1980, per le Intensità MSK I=IX e I=X. In questo caso si otterrebbe una stima dell'intensità di X grado, considerando gli edifici di classe A, e di IX-X considerando gli edifici di classe B.

## 2.7 Elaborazioni statistiche dei dati del rilievo

Con i dati acquisiti nel corso dei sopralluoghi vengono effettuate alcune elaborazioni statistiche, che possono fornire utili elementi per l'interpretazione del danneggiamento osservato.

La distribuzione della superficie di sedime (Fig. 2-41) indica la presenza di celle molto piccole (circa il 60% sono al di sotto di 75 mq), tipiche di un'edilizia rurale.

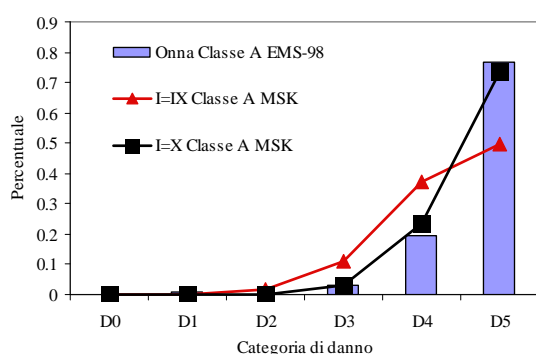


Figura 2-39: Distribuzione del danno agli edifici in classe A e matrici di probabilità di danno

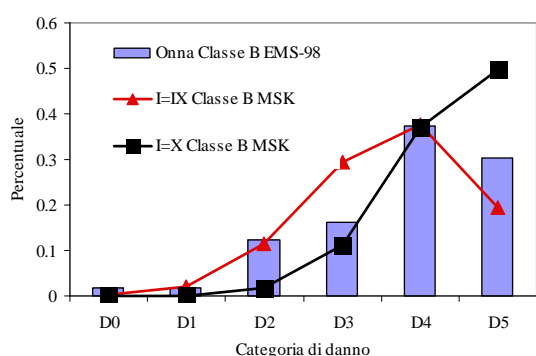


Figura 2-40: Distribuzione del danno agli edifici in classe B e matrici di probabilità di danno.

Anche il volume complessivo stimato (Fig. 2-42) porta a conclusioni analoghe. La distribuzione del numero di piani (Fig. 2-43) indica la prevalenza di edifici bassi (circa il 70% non su-

pera i due piani). Questa circostanza di solito si osserva maggiormente in zone di elevata sismicità. Come noto, il basso numero di piani di solito tende a ridurre la vulnerabilità degli edifici.

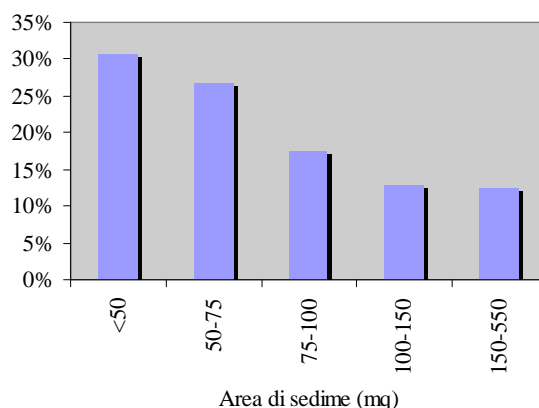


Figura 2-41: Distribuzione percentuale dell'area di sedime

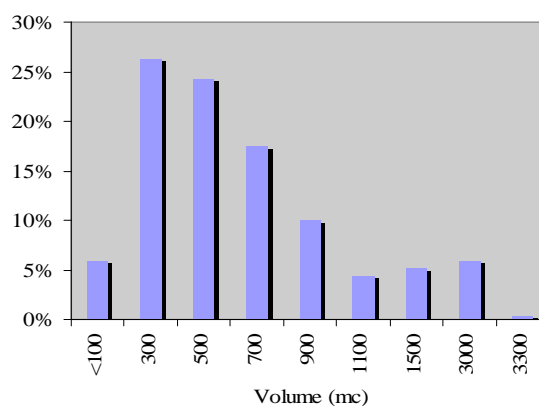


Figura 2-42: Distribuzione percentuale del volume dei singoli edifici

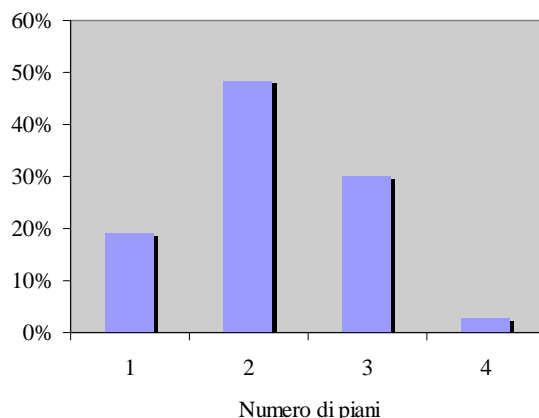


Figura 2-43: Distribuzione percentuale del numero di piani

Per quanto riguarda le tipologie costruttive si può ricavare dalla Tab. 2-4 che al primo livello vi è prevalenza di muratura di pietrame con orizzontamenti in putrelle di acciaio o volte di muratura. Al secondo livello (Tab. 2-5) gli elementi verticali sono ancora in prevalenza di muratura

di pietrame, con orizzontamenti di legno o acciaio. Al terzo livello (Tab. 2-6) gli elementi verticali sono ancora in prevalenza di muratura di pietrame, con orizzontamenti di prevalentemente in legno.

Per quanto riguarda i meccanismi di collasso che hanno determinato i danneggiamenti delle U.S. (Tab. 2-7), vista l'estensione dei crolli, non sempre è stato possibile individuarli sulla base del quadro fessurativo rilevato. Nella classe di vulnerabilità più elevata (A) si verificano prevalentemente meccanismi di rottura per disgregazione dei paramenti murari, mentre nella classe B è prevalente la rottura nel piano delle pareti. E' anche interessante osservare l'andamento dei meccanismi di collasso in relazione al livello di danno provocato (Tab. 2-8). Il danno D5 (crollo) è praticamente sempre associato alla disgregazione della muratura.

## 2.8 Analisi delle direzioni dei meccanismi di collasso

La finalità di questo paragrafo è analizzare, nei casi in cui è possibile, la direzione ed il verso dei principali meccanismi di collasso riscontrati sugli edifici di Onna per valutare se esista una direzione preferenziale. Un'analisi di questo genere presenta numerosi aspetti critici.

Tabella 2-4: Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al primo livello ed orizzontali al primo orizzontamento

Tipologia verticale	Tipologia orizzontale			
	C.a.	Legno	Acciaio	Volte
Pilastrini di c.a.	18			
Muratura mattoni	6			
Muratura pietrame	11	18	65	39
Muratura blocchi	17	9	3	

Tabella 2-5: Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al secondo livello ed orizzontali al secondo orizzontamento

Tipologia verticale	Tipologia orizzontale			
	C.a.	Legno	Acciaio	Volte
Pilastrini di c.a.	16			
Muratura mattoni	1		1	
Muratura pietrame	6	60	44	3
Muratura blocchi	8	3	5	

Tabella 2-6: Numero edifici per tipologia degli elementi verticali al terzo livello ed orizzontali al terzo orizzontamento

Tipologia verticale	Tipologia orizzontale			
	C.a.	Legno	Acciaio	Volte
Pilastrini di c.a.	9			
Muratura mattoni		1		
Muratura pietrame	5	34	8	
Muratura blocchi	9	1		

Tabella 2-7: Numero di U.S. per tipologia di danno e classi di vulnerabilità

Tipologia danno	Classe vulnerabilità				
	A	B	C	D	E
A					1
D1					1
D1-E1					1
D-E1				2	
E1			1	2	1
E-G3	1				
E-H		1			
F	6	14	5		
F-G1	5	2	3		
F-G1-G2	1	2	1		
F-G2	7	6			
F-G2-H		1			
F-G3	2	1			
F-H		2			
G1	2	2	2		
G1-G2	1				
G1-G3	4	5			
G1-H	2	1			
G2	2	1			
G2-F	1				
G3	81	11			
G3-G1-H		1			
G3-H	6	1			
H		4	3		
H-G1			1		

Tabella 2-8: Numero di U.S. per tipologia di danno e livello di danno

Tipologia danno	Livello di danno					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
A				1		
D1				1		
D1-E1				1		
D-E1					2	
E1		2		1	1	
E-G3					1	
E-H					1	
F		7	4	7	8	1
F-G1				1	3	6
F-G1-G2					1	3
F-G2			1	1	10	1
F-G2-H					1	
F-G3					1	2
F-H			1	1		
G1				1	2	3
G1-G2					1	
G1-G3						9
G1-H				1	1	1
G2					3	
G2-F						1
G3				2	10	81
G3-G1-H					1	
G3-H						7
H		1	3	1	2	1
H-G1						1
NR	1					

Di seguito si elencano tali difficoltà e si spiega come si è cercato di risolverle. In primo luogo va detto che non tutte le strade di Onna

sono percorribili in sicurezza e pertanto non sempre è stato possibile osservare in condizioni ottimali gli edifici lesionati e non sempre sono stati osservati da tutti gli angoli visuali.

Talvolta si è fatto ricorso ad immagini fotografiche adeguatamente ingrandite, tuttavia alcuni edifici che non è stato possibile osservare non sono stati presi in considerazione per l'analisi esposta in questo paragrafo.

Inoltre molti edifici sono totalmente crollati. In tal caso è impossibile sia riconoscere il meccanismo di collasso che ha originato il crollo sia riconoscere la sua direzione. Sarebbe fuorviante, in tali casi, basarsi sulla posizione delle macerie in terra in quanto esse sono state rimosse e riposizionate più volte dopo il sisma del 6 aprile.

Nel caso dei meccanismi "misti", ad esempio una parete che ribalta fuori piano e si trascina un cuneo del muro di spina, sono stati segnalati sia il meccanismo fuori piano della prima parete sia il meccanismo di piano della parete di spina. Essi, ovviamente, hanno la stessa direzione e lo stesso verso.

Nel caso in cui si sono osservati crolli di una sola parete con macerie poste davanti all'impronta della stessa parete, si è segnalato il meccanismo fuori piano di tale parete, basandosi sul fatto che il resto dell'edificio spesso, in tali casi, non mostrava segni di azioni nel piano e che, solitamente, le azioni nel piano portano al crollo più raramente di quelle fuori piano e che in tal caso il crollo è più esteso e non localizzato ad una sola parete.

Laddove il crollo totale dell'edificio ha lasciato intuire una direzione preferenziale dell'azione sismica si è segnalato convenzionalmente il meccanismo fuori piano riferito all'intero edificio. Ad esempio, è questo il caso di edifici crollati ma la cui copertura, rimasta sostanzialmente compatta, ha presentato evidenti dislocazioni rispetto all'impronta dell'edificio. La rappresentazione grafica adottata (Fig. 2-44) è semplicissima: sulla pianta di Onna si sono riportati i meccanismi che è stato possibile individuare e le loro direzioni e versi tramite delle frecce bianche per i cinematismi nel piano e delle frecce rosse per i meccanismi fuori piano. Ogni meccanismo è rappresentato da un numero, riportato anch'esso nella pianta di Onna, a cui è associata una fotografia dell'edificio in esame.

La descrizione dettagliata dei singoli meccanismi ed il corrispondente repertorio fotografico sono riportati in Appendice B.

Lo studio delle direzioni prevalenti dei meccanismi di collasso non sembra individuare una direzione preferenziale dell'azione sismica.

## 2.9 Proprietà chimico-fisiche delle malte

Attualmente sono in corso alcune prove di caratterizzazione chimico-fisica delle malte sia di Onna che di due paesi limitrofi, Monticchio e Bazzano. L'intenzione è di paragonare le malte su edifici simili per epoca di costruzione e per caratteristiche strutturali, ma situati in paesi diversi. I risultati oggi disponibili riguardano cinque campioni di malta, quattro di Onna e uno di Monticchio e si riferiscono ad analisi in DRX per la determinazione della composizione mineralogica (Tab. 2-9). Il limite di rilevabilità strumentale è dell'1%..

Il materiale giunto in laboratorio è stato frantumato in frantoio Retsch, campionato e infine macinato in mortaio di agata alla granulometria  $< 100 \mu\text{m}$  per sottoporlo all'analisi in DRX, mediante diffrattometro D8 Advance della Bruker.

Tabella 2-9: Composizione mineralogica di alcuni campioni di malta (abbondanza %, l'errore di misura è valutato nel  $\pm 20\%$  relativo): O4 campione Onna 4, O9 campione Onna 9, O11, campione Onna 11, O18 campione Onna 18, M24 campione Monticchio 24

	O4	O9	O11	O18	M 24
Calcite	65	65	44	69	55
Dolomite	15	6	10	10	15
Quarzo	8	9	12	10	8
Albite	3		3	5	4
Clorite	2		2	3	2
Ortoclasio		3	4		4
Muscovite	2		2		3
Microclino			3		4
Mica (Tarasovite)		2		3	
Silicato di Ca e Mg			15		
Idrossido idrato cloruro di Ca		12			
Dachiardite (Silicoaluminato idrato di Ca, Na, K e Mg)	5				
Zeolite					5
Singenite (Solfato di Ca e K idrato)		3			
Diopside			3		
Vesuvianite			2		

A seguito delle analisi effettuate si rileva che la composizione dei cinque campioni è simile, essi sono costituiti da calcite, dolomite, quarzo, albite, clorite, ortoclasio e muscovite (probabilmente nell'impasto delle malte sono state utilizzate sabbie provenienti dal flysch affiorante in zona). Solo il campione O9 contiene componenti di probabile alterazione (solfato e cloruro).

Per i prossimi campioni occorrerà effettuare analisi selezionando le varie componenti (malta e inerti) allo scopo di evidenziare la presenza di

eventuali prodotti di alterazione più dettagliatamente.

Inoltre si possono eseguire, quando il materiale non è in granulometria fine, sezioni lucido-sottili ottenute da porzioni rappresentative dei campioni, da analizzare sia in microscopia ottica convenzionale (analisi petrografiche), sia in microscopia elettronica corredata di analisi EDS, in modo da stabilire con precisione la composizione ed i rapporti tessiturali delle varie fasi mineralogiche che costituiscono i campioni.

A completamento delle indagini si possono eseguire analisi termo gravimetriche.

## 2.10 Conclusioni

Le informazioni di base che si sono utilizzate ed i rilievi appositamente effettuati hanno portato il Gruppo di lavoro alla elaborazione di un “modello” di danneggiamento. Si utilizza il termine modello per sottolineare che le conoscenze disponibili sono caratterizzate da una non trascurabile incertezza e, quindi, il giudizio esperto che ne risulta deve essere considerato anche sotto questo profilo.

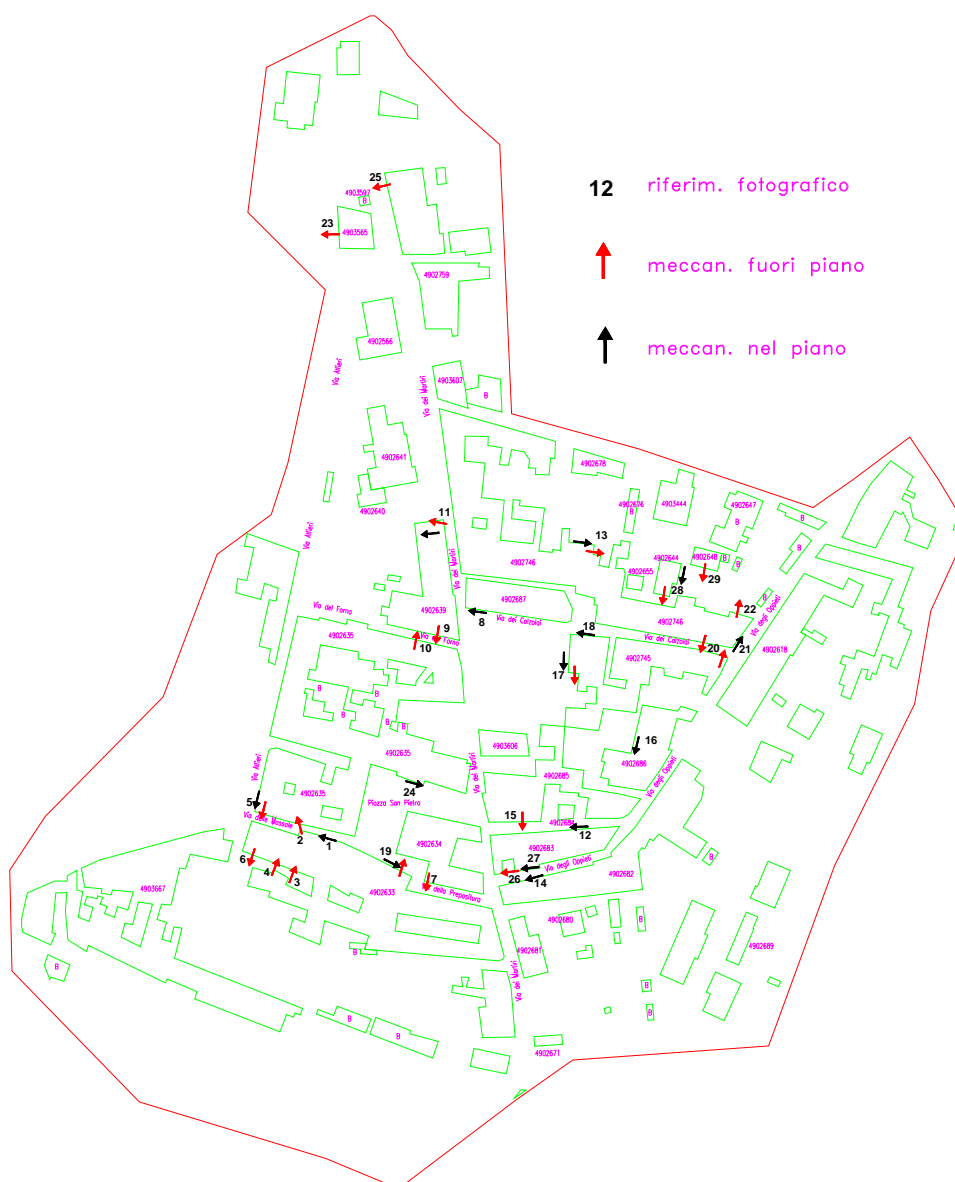


Figura 2-44: Direzione e verso dei meccanismi di collasso individuati

Dall'esame dei campi macrosismici dei terremoti storici che hanno interessato Onna e di

quello dell'attuale terremoto del 6 aprile 2009 (Galli e Camassi, 2009) si evidenzia la presenza di picchi

di intensità in corrispondenza di Onna stessa solo in occasione del recente terremoto del 6 aprile 2009 e forse anche di quello medioevale del 1461; tali picchi risultano molto probabilmente collegati ad effetti di sorgente.

Da ricordare a questo proposito che le intensità di detti campi macrosismici sono espresse secondo la scala MCS, scala che non considera la vulnerabilità degli edifici. Ne deriva che, a parità di scuotimento, differenze nella vulnerabilità complessiva dei centri abitati possono influenzare notevolmente le stime di intensità; ad esempio, un centro abitato con una elevata quantità di edifici di recente costruzione (minor vulnerabilità complessiva) risulterà meno danneggiato di un centro abitato privo di edifici recenti (maggior vulnerabilità complessiva) e quindi, a parità di scuotimento, il secondo sarà caratterizzato da un più elevato grado di intensità MCS. Non è escluso che un caso del genere possa aver influito sull'intensità osservata in Onna in occasione del recente terremoto.

Nelle pagine precedenti si è molto enfatizzato il ruolo che ha avuto la muratura nel quadro di danneggiamento osservato.

Pur in presenza di accorgimenti tipici delle zone storicamente soggette a terremoti (altezza degli edifici limitata, presenza di cordoli in legno, catene, ecc.) le caratteristiche costruttive prevalenti dei maschi murari (muratura a sacco) hanno comportato un prematuro disgregamento dei paramenti murari, con i conseguenti collassi disastrosi.

Quindi la vulnerabilità sembra aver giocato un ruolo molto importante, come si ricava indirettamente anche dall'osservazione degli edifici poco danneggiati, caratterizzati da danni spesso molto modesti. Probabilmente la prevalenza a Onna di edifici molto vulnerabili ha condotto ad un grado di Intensità più elevato di quello che si sarebbe stimato se il numero di edifici meno vulnerabili fosse stato confrontabile. Del resto anche la stima dell'Intensità con la scala EMS-98 effettuato sulla base degli accurati rilievi appositamente condotti ha approssimativamente confermato l'Intensità MCS attribuita nelle prime ore dopo l'evento.

Per quanto riguarda la presenza di direzioni preferenziali dello scuotimento, queste non sembrano essersi evidenziate, così come risulta dall'analisi delle direzioni e del verso dei meccanismi di collasso.

L'osservazione della distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità e dei livelli di danneggiamento non evidenzia concentrazione del danno in zone ristrette: si nota un'ottima corre-

lazione tra vulnerabilità e danno, indizio questo di scuotimento pressoché uniforme su tutta l'area analizzata.

Per quanto riguarda l'evoluzione storica dell'abitato non sembrano evidenziarsi particolari correlazioni fra le epoche costruttive delle diverse zone ed il livello di danneggiamento. In particolare i crolli appaiono distribuiti abbastanza uniformemente tra zone di diverse epoche di insediamento.

E' opportuno considerare anche il comportamento dei pochi edifici che risultano poco danneggiati. In particolare alcuni edifici in muratura portante non armata, rispettosi della regola dell'arte per quanto riguarda la tessitura della muratura e la qualità della malta, hanno subito danni molto lievi. Questa circostanza è una conferma indiretta del ruolo giocato dalla vulnerabilità nel danneggiamento.

Sulla base dell'osservazione degli effetti del danneggiamento si può stimare che l'ordinata spettrale in corrispondenza dei periodi fondamentali di vibrazione degli edifici ordinari, durante l'evento del 6 aprile 2009, sia stata di circa 0.6-0.7 g <sup>(1)</sup>. Per

---

<sup>1</sup> La presenza di edifici recenti in muratura, molto probabilmente progettati ai sensi del D.M. 16/1/1996, consente di ricavare in maniera indiretta una stima della forza orizzontale sperimentata nel corso dell'evento sismico del 6 aprile 2009. Il Comune dell'Aquila è classificato in zona sismica 2 (II categoria all'epoca del DM 1996). Il coefficiente sismico valeva quindi  $C=0.07$ . Per gli edifici in muratura tale coefficiente doveva essere moltiplicato per un coefficiente di struttura pari a 2 (punto C.5.2 della Circolare Min. LL.PP. 10 Aprile 1997 n. 65) per ricavare l'entità dell'azione di verifica. Per quanto riguarda la resistenza dei materiali, quella media effettiva, se misurata con prove di laboratorio, veniva convertita nel valore caratteristico moltiplicandola per circa 0.7 (punto 2.1.2 Allegato 2 al DM 20/11/1987); a questa si applicava poi un fattore parziale di sicurezza pari a 3 (punto 2.4.2.3.2 del DM 20/11/1987). In definitiva il livello di resistenza minima che gli edifici di nuova costruzione dovevano presentare si può stimare in  $C_{res} = 0.07 \times 2 / 0.7 \times 3 = 0.6$ . Certamente gli edifici in muratura possono essere stati realizzati con spessori murari superiori a quelli strettamente necessari in base al calcolo, quindi la resistenza effettiva potrebbe essere superiore. Ad ogni modo si ritiene che statisticamente questo valore di resistenza possa essere rappresentativo. Se la risultante in direzione orizzontale delle forze di inerzia avesse superato il 60-70% del peso dell'edificio si sarebbero dovuti verificare danni evidenti anche su questa categoria di edifici. Le precedenti valutazioni forniscono comunque l'ordine di grandezza del parametro ricercato, in quanto si sono accettate molte semplificazioni, per esempio non si è tenuto conto dell'effetto dei carichi verticali (permanenti e sismici) sulla resistenza.

Analoga valutazione può essere effettuata con le elaborazioni, riportate alla fine dell'Appendice A, sul comportamento sismico di un telaio di calcestruzzo arma-

quanto ricavabile dagli studi di sismicità (§ 2.2), il tempo intercorso tra i due eventi generati dalla stessa faglia (circa 550 anni) può essere preso come termine di riferimento per la corrispondente classe di magnitudo.

Questa osservazione può dare indicazioni utili anche per la programmazione della ricostruzione: tenuto conto che il sisma che si è verificato il 6 aprile 2009 si può considerare tra i più elevati che si possono attendere a Onna, il comportamento sismico degli edifici che hanno subito danni molto contenuti dovrebbe essere approfondito, in quanto essi offrono un "laboratorio" al vero del comportamento sismico degli edifici.

---

to in costruzione. Si è visto come la risultante delle forze orizzontali che deve essere applicata al telaio per indurre uno stato di danno paragonabile a quello realmente osservato è di circa il 60% del peso sismico dell'edificio.

In conclusione, sulla base dell'osservazione degli effetti del danneggiamento si può stimare che l'ordinata spettrale in corrispondenza dei periodi fondamentali di vibrazione degli edifici ordinari, durante l'evento del 6 aprile 2009, sia stata di circa 0.6-0.7 g.



# Le basi cartografiche ed il sistema informativo territoriale

Per supportare la ricognizione del danno strutturale e non strutturale degli edifici, subito durante il sisma del 06/04/2009, è stata realizzata una componente specifica a integrazione del Sistema Informativo Geografico (GIS) per l'emergenza Abruzzo sviluppato dalla Regione Umbria.

La Provincia di Perugia, quale componente del Sistema Regionale di Protezione Civile e per le sue peculiari competenze, ha implementato l'esistente Geodatabase centrale della Regione Umbria realizzato per supportare le fasi di rilievo del danno post emergenza, sia lato desktop sia lato web.

Il Geodatabase, basato su tecnologia SQL Server e ArcSDE, è stato organizzato in modo tale da assolvere la funzione di collettore principale di data set eterogenei e di diversa provenienza. Grazie a diversi provider dati è stato possibile tematizzare l'intero territorio abruzzese sia dal punto di vista fisico sia socio-demografico in brevissimo tempo.

I dati (data source) utilizzati per il popolamento sono stati principalmente quelli relativi all'ultimo censimento ISTAT; alle ortofoto pre e post sisma della TELAER; al grafo di TELE ATLAS; alle immagini satellitari EROS I di IPT; ai dati generali di ESRI Inc.; infine all'uso del suolo dell'European Environment Agency.

Sono stati creati sul GIS le seguenti geometrie (Feature Class) tra loro relazionate:

- Punti di presa (geometrie puntuali) – per catalogare le immagini fotografiche pre e post sisma acquisite lungo le vie del centro abitato e per ogni edificio presente;
- Aggregati strutturali (geometrie poligonali) – costituiscono l'insieme strutturale degli edifici;
- Edifici (geometrie poligonali) - costituiscono i singoli edifici che costituiscono gli aggregati strutturali.

Il Geodatabase costituisce nel sistema il contenitore principale (repository) per le fasi di unione dati (data fusion) indispensabili nella creazione di un quadro operativo comune.

Il Sistema Informativo Geografico per il “Progetto Onna” ha promosso lo sviluppo di un visualizzatore Web GIS basato su tecnologia ArcGIS Server e realizzato con il linguaggio open FLEX (Fig. 3-1).

Questo visualizzatore permette di contestualizzare, in modo estremamente intuitivo, i diversi strati informativi del Geodatabase centrale in un unico quadro operativo fornendo, come valore aggiunto, diverse funzionalità di navigazione, analisi, interrogazione organizzate in menu di “widget”.

Per il “Progetto Onna” (Fig. 3-2) sono stati realizzati i seguenti due widget:

- **Ricerca foto** – per ricercare e visualizzare la documentazione fotografica direttamente in mappa sia per intersezione geometrica, sia interrogando alfanumericamente (le informazioni) per ID aggregato, ID edificio e per periodo di riferimento (Figg. 3-3, 3-4);
- **Ricerca Edificio** – per ricercare e visualizzare le schede di rilievo del danno direttamente in mappa sia per intersezione geometrica, sia interrogando alfanumericamente (le informazioni) per ID aggregato e ID edificio (Fig. 3-5).

Le informazioni presenti sono disponibili attraverso un web service REST e SOAP per garantire la massima integrazione in ambienti SOA ovvero ambienti che indicano generalmente un'architettura software adatta a supportare l'uso di servizi Web per garantire l'interoperabilità tra diversi sistemi.

La banca dati cartografica è consultabile all'indirizzo [http://tmapserver.netatlante.it/abruzzo\\_umbria](http://tmapserver.netatlante.it/abruzzo_umbria).  
Il nome utente e la password per l'accesso possono essere richiesti a [protezione.civile@provincia.perugia.it](mailto:protezione.civile@provincia.perugia.it).

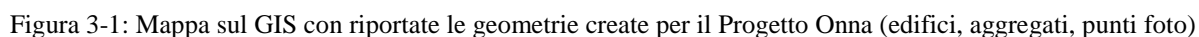






Figura 3-2: Sistema Informativo Geografico per il Progetto Onna



Figura 3-3 Sistema Informativo Geografico - RICERCA FOTO per visualizzare la documentazione fotografica per aggregato direttamente in mappa



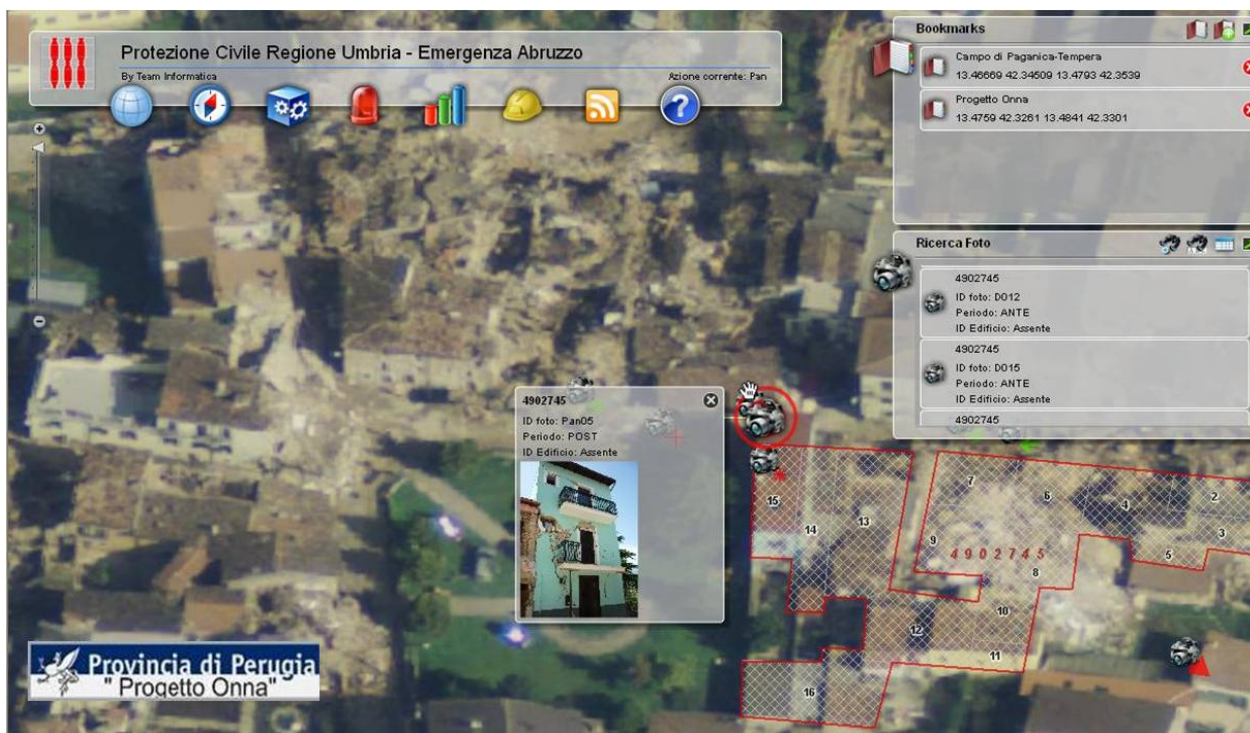


Figura 3-4 Sistema Informativo Geografico - RICERCA FOTO per visualizzare la documentazione fotografica per edificio direttamente in mappa



Figura 3-5 Sistema Informativo Geografico - RICERCA EDIFICIO per ricercare e visualizzare le schede di rilievo direttamente in mappa

Nei paragrafi seguenti si riportano i dettagli delle osservazioni dei danni su alcuni aggregati rappresentativi di diversi livelli di danneggiamento osservato ad Onna. Gli aggregati denominati 4902745 e 4902682 e sono anche evidenziati in Fig. A-1.

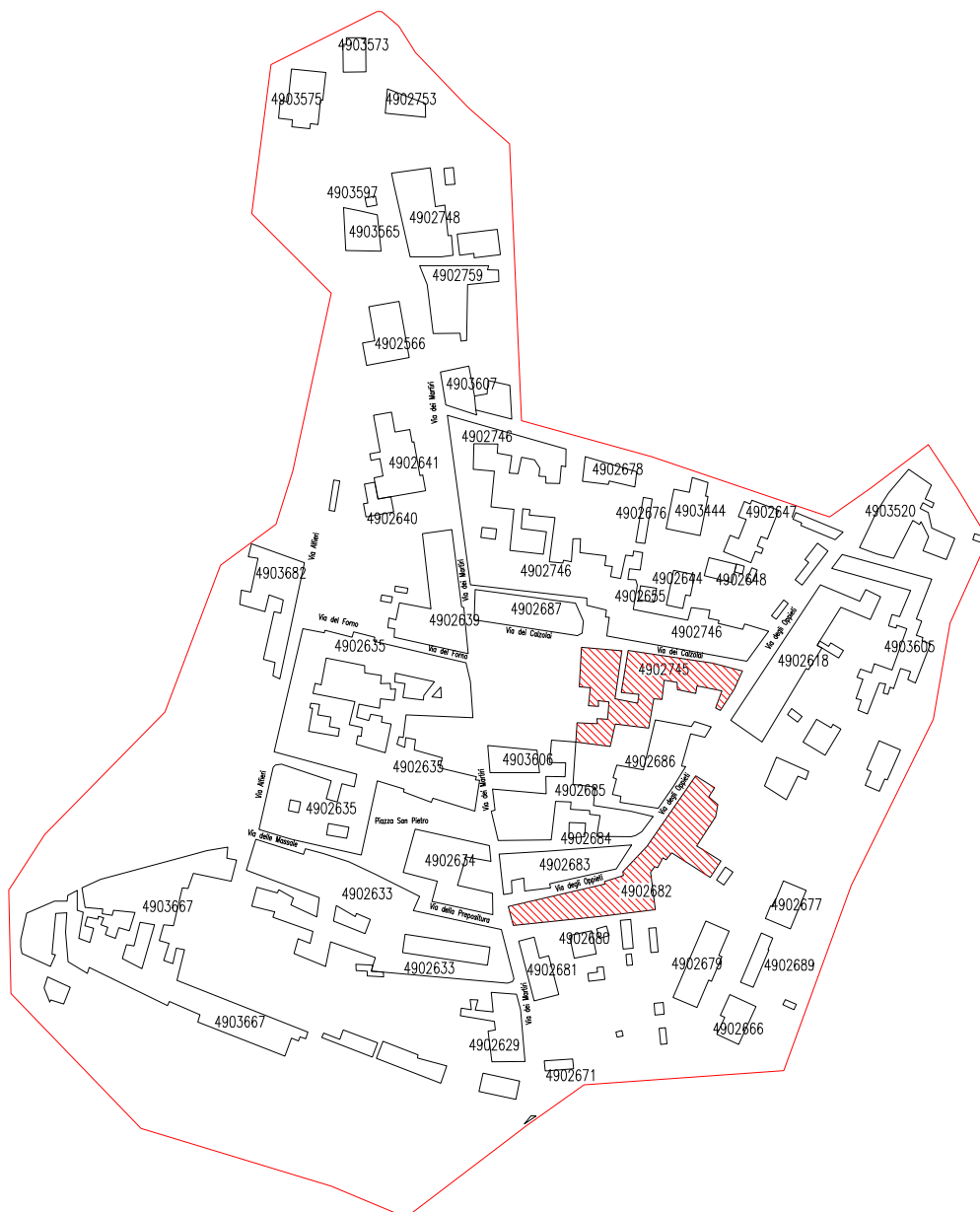


Figura A-1: Pianta di Onna con la numerazione degli aggregati edilizi. Sono campiti i due aggregati di cui si può leggere la relazione dettagliata nei paragrafi seguenti.



## Aggregato 4902745

### Caratteristiche plano-altimetriche

L'aggregato in oggetto si compone di 16 unità strutturali (U.S.) disposte in maniera fortemente irregolare sia in pianta che in elevazione. Esso risulta inscritto in un rettangolo di dimensioni circa 60 x 35 metri ed è delimitato ad Est da via degli Oppieti, a Nord da via dei Calzolari, ad Ovest da un giardino pubblico in piazza Umberto I ed a Sud da un cortile interno su cui s'affaccia anche l'aggregato 4902686. Le altezze sono variabili da U.S. ad U.S. e vanno da un piano a quattro piani. La disposizione planimetrica delle unità strutturali è visibile in figura 1.

Nelle Figure da 2 a 5 si riportano quattro viste dall'alto di come si presentava l'aggregato prima del sisma del 6 aprile 2009.

### Stato di danneggiamento a seguito del sisma

L'aggregato ha subito danni gravissimi e crolli che sono sintetizzati nella fotografie di Fig. 6 e nella pianta in Figura 7. Un confronto tra prima e dopo il sisma è riportato in Fig. 8.

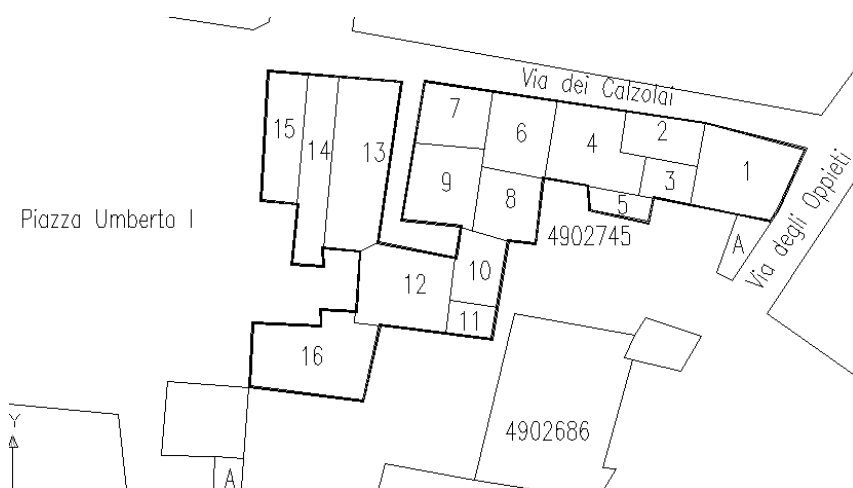


Figura 4902745-1: Pianta dell'aggregato 4902745 con suddivisione in unità strutturali (U.S.) e indicazione delle vie circostanti



Figura 4902745-2: Aggregato 4902745, vista da Sud (immagine Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma)



Figura 4902745-3: Aggregato 4902745, vista da Ovest (immagine Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma)



Figura 4902745-4: Aggregato 4902745, vista da Nord (immagine Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma)





Figura 4902745-5: Aggregato 4902745, vista da Est (immagine Terraitaly™ © BLOM CGR – Parma)

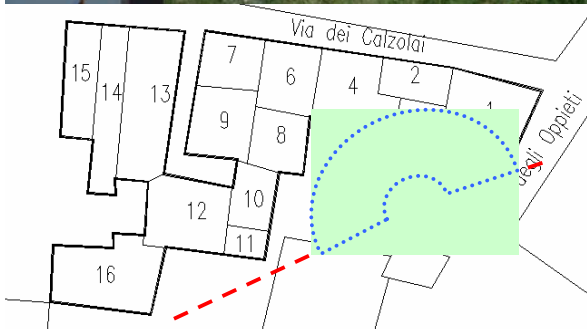


Figura 4902745-6: Vista panoramica dell'aggregato dopo il sisma. In basso è riportato il punto di presa della foto rispetto all'aggregato in esame e l'angolo visuale spazzato. In primo piano l'US 5 ad un solo livello. Le U.S. 6, 7, 8, 9, 10 e 13 sono totalmente crollate e permettono di scorgere le U.S. 14 e 15 (con intonaco verde) in lontananza.

### ***Caratteristiche costruttive generali***

Le strutture portanti verticali dell'isolato sono interamente in muratura portante, prevalentemente in pietrame a sacco a due paramenti scollegati. Le sezioni murarie hanno spessore piuttosto ampio, orientativamente si può dire che al livello più basso si va dagli 80 cm ai 60 cm per arrivare in copertura ad avere pareti in pietrame da circa 30 - 40 cm di spessore.

Sebbene l'impianto originale dell'isolato sia antico ('700 – '800 in base a quanto riportato nel § 1.5), esso ha subito numerosi interventi di consolidamento negli ultimi tre decenni. Tali interventi hanno riguardato spesso le coperture ed i solai che sono stati sostituiti e l'inserimento di catene in acciaio.

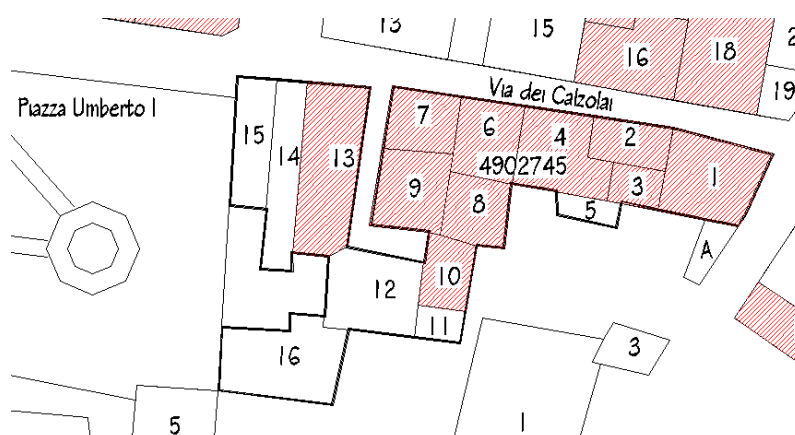


Figura 4902745-7: Pianta dei crolli



Figura 4902745-8: Vista dai giardini di piazza Umberto I della U.S. 15. Prima e dopo il sisma.

### **Le murature**

Le murature di gran parte delle U.S. che è stato possibile vedere nell'aggregato sono in ciottolame con malta argillosa abbastanza decoesa. Le tipologie murarie in esame che qui verranno descritte sono, per brevità, solamente due:

- Muratura della U.S. 15 (Fig. 9), disposta nella porzione di aggregato in prossimità di Piazza Umberto I e dei giardini pubblici. Tale U.S. non è crollata ma ha subito danneggiamenti gravissimi. L'U.S. di altezza pari a 4 livelli (3 piani più sottotetto) disposta in posizione di testata nell'agglomerato edilizio, interagente su un solo lato con una U.S. sensibilmente più bassa, pur riportando danni gravissimi, non è crollata totalmente. Se si esclude l'ultimo livello, in blocchi, la muratura di questa costruzione appare di qualità migliore rispetto alla media del resto dell'aggregato.
- Muratura della U.S. 4 (Fig. 10). Con tale esempio si vuole rappresentare la tipologia muraria della porzione di aggregato che è crollata totalmente riportando il danneggiamento più grave. Ci si riferisce quindi alle U.S. numerate da 1 a 10 (esclusa la 5 che è di moderna costruzione). Per le parti non consolidate (piano terra U.S. 1-2-3) tale tipologia muraria è di qualità molto scarsa.

Di seguito sono analizzate le caratteristiche della muratura basandosi sul raffronto con l'antica "regola dell'arte" ed i suoi criteri di corretta tessitura. Per i dettagli si rimanda al § 2.5.





Figura 4902745-9: Pareti delle U.S. 14 e 15 prospettanti su via dei Calzolari (secondo piano). Sezione muraria appartenente all'U.S. 14 e paramento murario esterno dell'U.S. 15. Le due murature delle due U.S. si possono ritenere simili per tipologia.

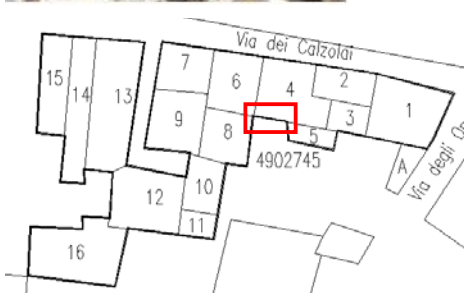


Figura 4902745-10: Sezione muraria e paramento della U.S. 4, parete prospettante sul cortile interno posta al primo livello. Il crollo del paramento esterno di tale maschio murario permette di osservare l'assenza di elementi di ingranamento trasversale nella parete, la disposizione caotica interna delle pietre e la povertà della malta.

### Analisi della qualità muraria parete unità strutturale 15



Qualità e resistenza degli elementi: R – si tratta di pietre di normale consistenza e qualità.  
Forma e dimensione degli elementi: PR – elementi di media dimensione (20-30cm circa) e di forma regolare, con inserti di ciottoli di fiume di piccola dimensione con gli spigoli arrotondati.  
Nella figura a sinistra si riporta una porzione della muratura in esame con un reticolo di maglie quadre di lato 10 cm per apprezzare le dimensioni degli elementi.

Malta: NR – malta pulvirulenta, almeno per quel che si può osservare del paramento murario esterno.

Sfalsamento verticale dei giunti: PR parzialmente rispettato. Nel tratto di parete visibile (paramento esterno) i giunti verticali sono sfalsati ad un livello sufficiente di ingranamento fra le pietre. Non è ispezionabile il paramento interno della parete.



Orizzontalità dei filari: PR, parzialmente rispettato. Le pietre con le facce orizzontali piuttosto squadrate lasciano supporre un parziale rispetto di questo parametro della regola dell'arte, sebbene la porzione di muratura osservabile sia piuttosto limitata e posizionata ad alta quota rispetto al punto di osservazione.

Ingranamento trasversale: PR – vi è presenza sporadica di pietre totalmente passanti (diatoni) e comunque di pietre lievemente ingranate in senso trasversale, seppure tale ingranamento non risulta sufficiente per un rispetto totale della regola dell'arte.

L'immagine a fianco si riferisce alla muratura della U.S. 14, adiacente alla 15 e che si può ritenere simile a quella della stessa U.S. 15 per la quale non risultano osservabili sezioni murarie in pietrame.



Indice di qualità muraria: IQM = 4,5 ; categoria muratura: B (intermedia)

<b>Analisi della qualità muraria parete unità strutturale 4</b>
Qualità e resistenza degli elementi: R – pietre di normale qualità e consistenza dal punto di vista del comportamento meccanico.
Forma e dimensione degli elementi: NR – si tratta di ciottoli di fiume dalla forma arrotondata e piccola dimensione oppure di pietre di media grandezza (circa 20 cm la dimensione maggiore) con gli spigoli arrotondati. In entrambi i casi la forma e la disposizione delle pietre non garantiscono sufficiente ingranamento fra gli elementi della parete.
Malta: NR – malta pulvirulenta, di colore marrone tendente al giallo.
Sfalsamento verticale dei giunti: NR – assente
Orizzontalità dei filari: NR – assente
Ingranamento trasversale: NR – assente. Nel caso della muratura ora in esame dalla foto del paramento frontale si può vedere la parte interna della parete in quanto il paramento esterno è collassato. Si può notare la totale sconnessione trasversale fra i paramenti e la povertà della malta.
Indice di qualità muraria: IQM = 0 ; categoria muratura: C (scarsa)

### ***I solai di interpiano e le coperture***

I solai nella maggior parte dei casi sono riconoscibili (con un certo margine di imprecisione) dalle macerie. Al livello più basso nelle U.S. della parte Est (da 1 a 4) si trovano volte in pietra, peraltro non crollate. Sulle altre U.S. invece ai livelli inferiori si trovano solai in acciaio e tavelloni oppure in acciaio e voltine in laterizio.

Le coperture sono in legno. Spesso si tratta di coperture di recente costruzione dotate di un cordolo in cemento armato di grande sezione (altezza circa 40-50 cm; base pari allo spessore del muro in sommità, circa 30-40 cm) su cui si innestano travi in legno con tavolato sovrastante. Le travi in legno sono su luci ordinarie (circa 5 metri) e con sezioni ordinarie.

A volte c'è il solaio di sottotetto, immediatamente sotto la copertura, che viene rinforzato con getto di soletta in cemento armato magro.

Nelle fotografie di Figg. 11 e 12 si vedono alcuni solai e coperture dell'aggregato descritto.

### ***Collegamenti fra elementi strutturali***

I collegamenti fra solai d'interpiano e pareti d'ambito, da quanto è stato possibile vedere, risultano molto carenti (Fig. 13). In alcuni casi si è notato che le travi d'acciaio dei solai sono semplicemente infilate nella loro sede all'interno delle pareti senza che sia stato predisposto alcun tipo di vincolo.

Il collegamento fra la copertura e le pareti sottostanti è presente ma non si è quasi mai rivelato efficace. Infatti esso, come accennato in precedenza, veniva realizzato tramite cordoli in cemento armato di grande sezione appoggiati su muratura povera. Spesso tale configurazione vulnerabile ha condotto ad un tipo di collasso facilmente riconoscibile: la U.S. dopo il sisma si presenta con la copertura, relativamente poco danneggiata, appoggiata sopra le pareti dell'ultimo livello completamente disgregate.

Frequenti sono anche imperfezioni costruttive nei cordoli (Fig. 14).

Va segnalata anche una ulteriore criticità costituita dalle travi in legno infilate nel cordolo; in molti casi si vedono cordoli spezzati in corrispondenza delle travi in legno. Il collasso della muratura sottostante il cordolo causa la perdita di appoggio dello stesso cordolo e ne altera lo schema statico: il cordolo si trova a funzionare come una trave, dunque risulta fortemente impegnato a flessione e taglio. In queste condizioni la sezione più debole, quella con l'interruzione di continuità dovuta all'inserimento dell'elemento ligneo, va in crisi per flessione o taglio.

Il collegamento fra pareti confluenti è inefficace a causa della povertà della muratura. Talvolta è stato affidato a tiranti in acciaio che non si sono dimostrati efficaci, presumibilmente sempre a causa della disgregazione della muratura della U.S (Fig. 15).





Figura 4902745-11: U.S. 1: copertura in legno con cordolo in c.a. Il tirante in ferro era posizionato ad un livello inferiore rispetto alla copertura.



Figura 4902745-12: U.S. 4: copertura in legno e solaio sottostante in acciaio e tavelloni.



Figura 4902745-13: U.S. 11: assenza di collegamento fra il solaio di acciaio e la muratura sottostante. È da notare che la parete soprastante è di nuova edificazione.



Figura 4902745-14: U.S. 1: dettaglio dell'ancoraggio carente delle armature del cordolo in corrispondenza dell'angolo. I ferri della porzione a sinistra non sono stati piegati nella parte destra del cordolo.



Figura 4902745-15: U.S. 14. Collegamento inesistente fra due pareti ortogonali. Gli elementi della muratura sono troppo piccoli e con spigoli arrotondati e non riescono ad ingranarsi l'un l'altro.



## ***Ipotesi sulle cause del danneggiamento ed individuazione dei meccanismi di collasso***

### **Unità strutturale 1 (Fig. 16)**

Il collasso totale degli ultimi due piani è dovuto alla povertà della muratura in pietrame che si è totalmente disgregata. È da notare la dislocazione dell'intera copertura, sostanzialmente rigida, in direzione Nord.

Il piano terra, non crollato, risulta voltato e le volte, a botte ed in pietra, hanno lesioni dovute ad eccesso di carico verticale sovrastante (presumibilmente dovuto anche al peso delle macerie). Le U.S. 1, 2 e 3 hanno recentemente subito interventi di consolidamento che, per quanto si è potuto osservare, sono consistiti nella stilatura delle volte e delle pareti interne al piano terra. Sulla faccia esterna delle pareti al piano terra di via dei Calzolari è stato trovato intonaco armato, eseguito senza collegamento fra i fogli di rete elettrosaldata. Ulteriori elementi costruttivi di moderna tecnologia sono: il cordolo di cemento armato piuttosto rigido posto al livello di copertura e le catene in acciaio. Più antiche appaiono, invece, le catene in legno che è possibile individuare fra le macerie.

### **Unità strutturali 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 e 10 ed unità strutturale 5 (Fig. 17)**

Il crollo totale di tali unità strutturali è dovuto presumibilmente alla povertà costruttiva delle murature ed all'inefficacia dei collegamenti fra elementi strutturali.

Non è possibile ricostruire a posteriori alcun meccanismo di collasso in quanto il livello di danneggiamento risulta troppo elevato.

L'U.S. 5 è un piccolo avancorpo posizionato sul cortile interno alto solo un piano e di moderna costruzione. Le sue murature sono in blocchi laterizi con rivestimento in pietra faccia-vista. Tale U.S. non ha subito danni se non quelli derivanti dai crolli delle US circostanti.

### **Unità strutturali 11-12 (Fig. 18, 19 e 20)**

L'U.S. 11 ha subito il crollo della facciata in comune con l'U.S. 10, in pietrame a due fodere. Dalla fotografia si può notare l'assenza totale di connessione fra la copertura in legno di nuova realizzazione e la parete crollata (distacco dell'orditura secondaria di copertura posta sopra la trave principale in legno in primo piano). È evidente anche l'assenza di connessione fra la parete in laterizio posta sul lato Est (a sinistra in foto) e la parete crollata.

Nell'U.S. 11 al piano terra si è notato anche un grave collasso per presso flessione / disgregazione della fodera interna della muratura in ciottolame (Fig. 19).

L'U.S. 12, da quanto è stato possibile vedere, non ha subito crolli ma solo danneggiamenti. Si tratta di una U.S. a due livelli posta in una zona interna dell'aggregato.

### **Unità strutturale 16**

L'U.S. 16 non è osservabile in sicurezza e pertanto ci si limita ad affermare che essa non appare crollata.

### **Unità strutturali 13, 14 e 15 (Figg. 21, 22, 23, 24 e 25)**

L'U.S. 13 ha subito un crollo pressoché totale causato presumibilmente anche dalla scadente qualità della muratura. Ciò è desumibile dalla foto sottostante in cui si vede ciò che rimane di tale U.S. ed in primo piano si nota la parete divisoria comune con l'U.S. 14 e la muratura in ciottolame e malta scadente.

L'U.S. 14 è a due piani ed è dotato di cordolo in c.a. Il danno consiste nell'espulsione dell'angolata per tutta l'altezza dell'U.S. La causa di tale danno è presumibilmente da ricercarsi nell'interazione con l'adiacente U.S. 13 crollata che, nel suo moto, potrebbe aver trascinato con sé una porzione della U.S. 14. La qualità della muratura della U.S. 13 è inferiore a quella delle U.S. 14 e 15.

La U.S. 15 ha una pianta lunga e stretta, è alta 4 piani e la sua muratura ai primi tre livelli si ipotizza essere di media qualità, a differenza della maggior parte delle altre U.S. dell'aggregato. L'ultimo piano

dell'U.S. 15 presenta murature in blocchi squadrati disposti col lato lungo in senso trasversale alla parete (parete di soli diatoni).

L'U.S. 15 inoltre presenta catene in acciaio su entrambe le direzioni (anche se, probabilmente, non su tutti i muri) e, presumibilmente, anche dei solai d'interpiano irrigiditi (in acciaio e tavelloni).

Nel caso dell'U.S. 15 è possibile individuare un evidente meccanismo di collasso consistente in una dislocazione degli ultimi due livelli dell'U.S. in direzione Sud-Ovest. Tale movimento, piuttosto evidente (si vedano le foto) ha provocato, inoltre, l'espulsione della parete Sud del quarto livello.



Figura 4902745-16: U.S. 1. Vista da via degli Oppieti



Figura 4902745-17: in primo piano l'U.S. 5. Dietro si scorgono le costruzioni crollate cui si riferisce questo paragrafo



Figura 4902745-18: U.S. 11. Parte superiore ricostruita in adiacenza alla muratura in pietrame dell'U.S. 10 crollato.



Figura 4902745-19: U.S. 11. Collasso fodera interna della muratura.



Figura 4902745-20: U.S. 10 (crollata) e 12 (con intonaco giallo). È da notare la catena in legno sulla parete crollata dell'U.S. 10.



Figura 4902745-21: In primo piano l'U.S. 13, crollata. Dietro, con intonaco rosa, l'U.S. 14. Ancora dietro, con intonaco verde, l'U.S. 15.





Figura 4902745-22: U.S. 15, spigolo Sud-Ovest. Meccanismo di espulsione della parete Sud nella sua parte più alta. Lesione da ribaltamento di un ampio cuneo di muratura coinvolgente i piani 2 e 3. Si nota bene il movimento rotatorio della parete al terzo livello che risulta avere maggiori dislocazioni sullo spigolo Sud-Ovest che sullo spigolo Sud-Est.



Figura 4902745-23: Dettaglio della superficie di distacco del cuneo murario. Si nota come il cordolo in legno che chiudeva la parte sommitale della muratura prima che questa venisse sopraelevata abbia introdotto un elemento di debolezza nella parete.



Figura 4902745-24: U.S. 15, facciata Nord. L'U.S. bassa adiacente è la 14. Si noti il movimento complessivo della facciata verso Ovest (destra in foto) con i conseguenti meccanismi di tipo flessionale sugli snelli maschi murari di base e di tipo "taglio" sul pannello murario al secondo piano, più tozzo. Il cinematisma di collasso ipotizzato è congruente con le lesioni di scorrimento della copertura.



Figura 4902745-25: U.S. 15, spigolo Nord-Ovest e facciata Ovest. Il quadro fessurativo è meno accentuato ma congruente con il meccanismo di collasso ipotizzato.

***Caratteristiche plano-altimetriche***

L'aggregato in esame è un complesso insieme di 17 unità strutturali (U.S.) disposte come mostrato in figura 1. La zona Est dell'aggregato presenta U.S. disposte in agglomerato mentre la zona Ovest segue la tipica evoluzione costruttiva dei complessi a schiera (tre muri in direzione longitudinale e molte pareti in direzione trasversale).

L'aggregato ha una lunghezza di circa 90 metri mentre la dimensione trasversale è molto variabile: dai 7 metri dell'edificio 17 agli oltre 20 metri nella zona Est.

La disposizione rispetto al nucleo del paese è periferica: l'aggregato infatti è delimitato sui due lati più lunghi da via degli Oppieti e dalla campagna che circonda Onna.

Nelle Figg. 2, 3 e 4 si vede l'aggregato così come si presentava prima del sisma del 6 aprile.

***Stato di danneggiamento a seguito del sisma***

Più della metà dell'aggregato risulta crollato a seguito del sisma del 6 aprile. In particolare la zona Est, è crollata totalmente mentre alcune U.S. della zona Ovest sono fortemente danneggiate ma non crollate. La cellula di testata della parte a schiera dell'agglomerato (la U.S. 17) è crollata.

Nella Fig. 5 si riportano i crolli subiti dall'aggregato a causa del sisma, rappresentati anche dalle fotografie in Figura 6.

***Caratteristiche costruttive generali***

L'intero aggregato si compone di strutture in muratura portante con una altezza massima di tre piani fuori terra. Tale altezza si raggiunge sul prospetto in via Oppieti, rivolto verso il centro abitato. Sul retroprospetto, rivolto verso la campagna, si trovano annessi agricoli e rimesse attrezzi di altezza inferiore, anche ad un solo piano.

I solai sono prevalentemente in acciaio e le coperture prevalentemente in legno. Molte U.S. dell'aggregato avevano subito interventi di consolidamento recenti, soprattutto il rifacimento della copertura. Nel caso della U.S. 8 i lavori erano in corso al momento del sisma e, da testimonianze dirette, si è potuto apprendere che i lavori riguardavano il rifacimento della copertura.

***Le murature***

La muratura è di qualità molto scadente su tutto l'aggregato, anche a causa della scarsa qualità della malta. Gli spessori murari al piano terra si attestano sui 60-80 cm. Ai piani superiori è possibile vedere lo spessore delle pareti solo nel caso della U.S. 4 ed esso risulta di circa 40 cm al terzo livello.

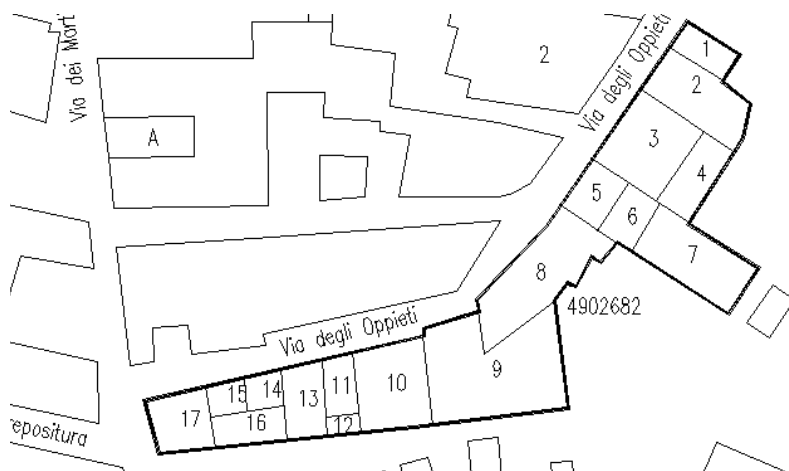


Figura 4902682-1: Suddivisione dell'aggregato in unità strutturali.





Figura 4902682-2: Aggregato 4902682, vista da Est. Immagini Terraitaly TM © BLOM CGR - Parma



Figura 4902682-3: Aggregato 4902682, vista da Ovest. Immagini Terraitaly TM © BLOM CGR - Parma



Figura 4902682-4: Aggregato 4902682, vista da Nord. Immagini Terraitaly TM © BLOM CGR - Parma

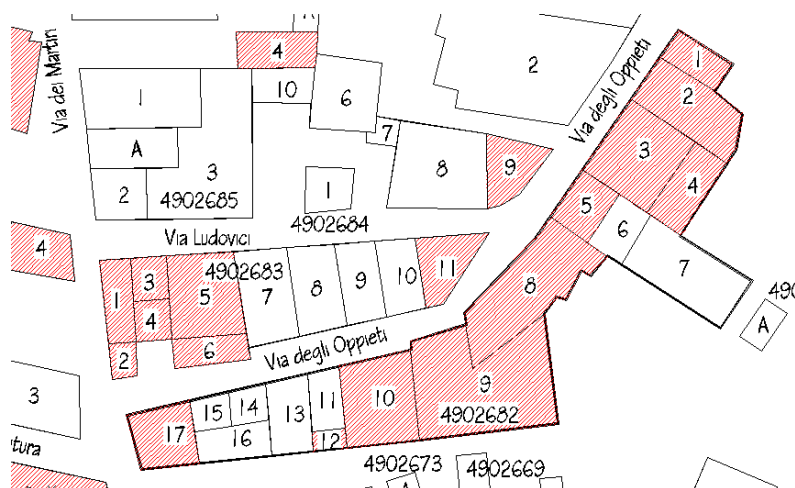


Figura 4902682-5: Pianta dei crolli.



Figura 4902682-6: L'aggregato in esame visto da via degli Oppieti prima e dopo il terremoto.

Per brevità qui si analizzano solo le due tipologie murarie principali:

- Muratura presente al piano terra di alcune U.S. sul prospetto di via degli Oppieti (Fig. 7). Si tratta di una muratura di grande spessore (anche 80 cm) a sacco ed il cui paramento esterno ha pietrame tessuto rispettando alcuni elementari principi della regola dell'arte. È presumibile che le pietre per tale muratura derivino da antichi crolli dovuti a passati terremoti e siano state riutilizzate per edificare le costruzioni attualmente presenti sulla stessa area di sedime. La malta di tale tipologia muraria appare di pessima qualità.
- Muratura presente ai livelli superiori dell'aggregato (secondo e terzo piano, Fig. 8). Lo spessore di tale muratura è grande in relazione ai carichi portati (40-60 cm). La muratura è a sacco o a doppio paramento accostato. La differenza rispetto alla muratura del piano terra è nel fatto che ai livelli più alti le pietre sono di dimensione minore, sono più arrotondate e non rispettano le regole dell'arte. La malta di tale murature appare di pessima qualità.

Si riportano di seguito le schede di dettagli per la valutazione della qualità muraria

### ***I solai di interpiano e le coperture***

Il rilievo dei solai e delle coperture è stato condotto in maniera sistematica solo per la parte di aggregato crollata. Infatti le costruzioni ancora in piedi sono troppo danneggiate per potervi accedere in sicurezza ed esaminare i solai e le coperture.

Tuttavia, limitandosi ai casi che è stato possibile osservare, si nota che i solai d'interpiano sono prevalentemente in acciaio e laterizio (talvolta consolidati con rete elettrosaldata) e le coperture sono in legno.

Su molte coperture s'è notato un cordolo in cemento armato di grosse dimensioni con alcune carenze costruttive già descritte in precedenza (Figg. 9 e 10).

In corrispondenza della U.S. 3 e della U.S. 10 si notano al livello più basso alcune volte a botte di piccola luce. Si ritiene che la volta della U.S. 3, con generatrici orizzontali e di luce circa pari ad 1 metro, possa esser stata un passaggio privato da via degli Oppieti ai cortili posti dietro l'aggregato in esame. La volta della U.S. numero 10, invece, sembra il soffitto di una scala che si dirige ad un piano interrato.

### ***Collegamenti fra elementi strutturali***

I collegamenti fra le pareti delle U.S. esaminate appaiono spesso inefficaci, anche quando presenti, poiché la qualità della muratura è tale da vanificare l'effetto positivo delle catene in acciaio o dell'ingranamento fra pareti in corrispondenza delle angolate (Figg. 11, 12, 13 e 14).



Figura 4902682-7: La muratura della U.S. 2 dell'aggregato al piano terra, lato via degli Oppieti. Si riportano il paramento esterno e la sezione muraria.



Figura 4902682-8: Muratura della U.S. 6 al terzo livello (lato via Oppieti). Paramento esterno (parzialmente intonacato) ed interno. Sezione muraria. Si noti anche la connessione debole fra orizzontamenti e pareti.



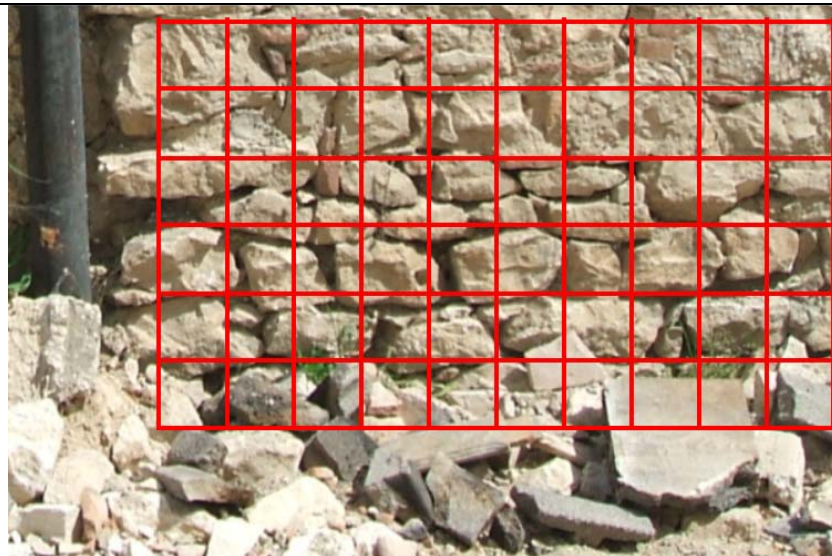
### Analisi della qualità muraria parete U.S. 2 – piano terra

Qualità e resistenza degli elementi: R – pietrame di accettabile resistenza.

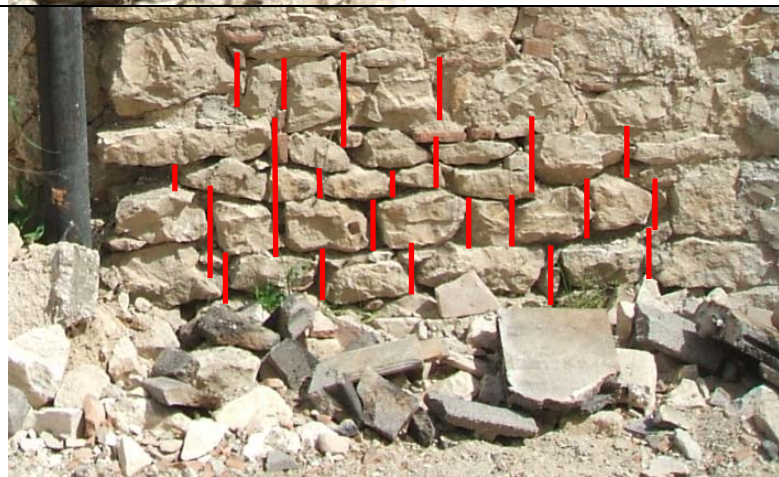
Forma e dimensione degli elementi: PR – elementi di media dimensione (20-30cm circa nella direzione della massima lunghezza) e di forma regolare, con inserti di ciottoli di fiume di piccola dimensione con gli spigoli arrotondati. Gli appoggi non sono regolarizzati con scaglie se non saltuariamente. Tale tipologia di pietra si trova solo nella parte più bassa del primo livello.

A quote più elevate le pietre presentano dimensioni minori e spigoli più arrotondati (si veda l'analisi della tipologia muraria corrispondente), presumibilmente anche per semplicità di trasporto a quote più elevate da parte dei muratori.

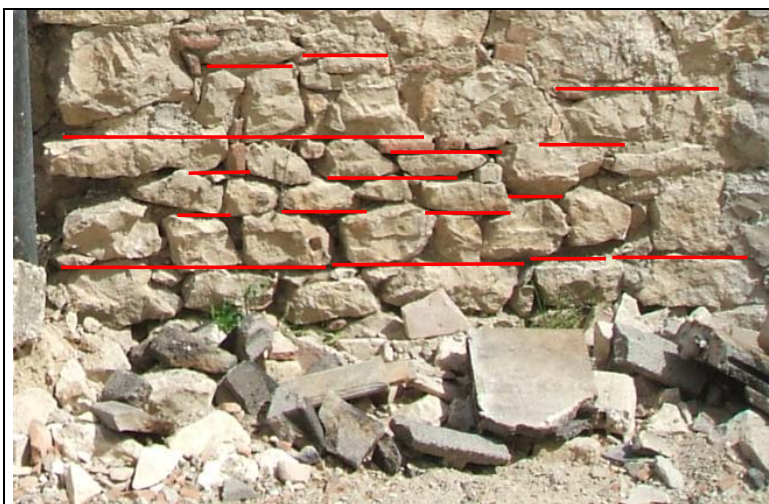
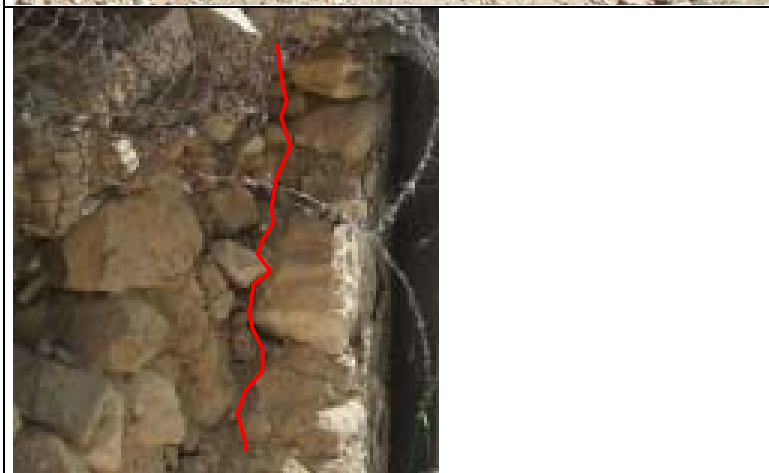
Nell'immagine si sovrappone un reticolo a maglie quadre di lato 10 cm alla fotografia del paramento analizzato; da ciò si possono dedurre le principali informazioni dimensionali sulla muratura in esame.



Malta: NR – malta pulvirulenta. Colore marrone-rossastro, consistenza argillosa con granuli di dimensione massima dell'ordine del mm. Tale malta è stata dilavata facilmente dalle piogge.



Sfalsamento verticale dei giunti: PR – parzialmente rispettato. Le zone con allineamento verticale di due giunti ("sorelle") sono limitatamente presenti; le zone con tre o più giunti verticali allineati non sono state riscontrate nella porzione di muratura esaminata.

	<p>Orizzontalità dei filari: NR – assente. Si notano tracce di alcune bancate che per brevi tratti sono orizzontali. Tali bancate hanno interasse di circa 40 cm e, presumibilmente, rappresentano i cantieri successivi con cui fu edificata la muratura. Tuttavia bisogna notare che anche le antiche bancate presentano talvolta interruzione della continuità orizzontale.</p>
	<p>Ingranamento trasversale: NR – il paramento esterno è nettamente separato dal paramento interno e lo spazio fra i due è riempito con ciottoli e terra. Nella figura è stata evidenziata la linea di separazione fra il paramento murario esterno (su via degli Oppieti) e quello interno.</p>
<p>Indice di Qualità Muraria: IQM = 2 ; categoria muratura: C (bassa)</p>	

#### Analisi della qualità muraria parete U.S. 6 – terzo livello

Qualità e resistenza degli elementi: R – si tratta di pietrame di normale resistenza e qualità.

Forma e dimensione degli elementi: NR – prevalenza di elementi di piccola dimensione e con spigoli arrotondati sui due paramenti esterno ed interno. Le pietre hanno una dimensione prevalente tra 10 e 20 cm mentre le altre due dimensioni sono molto minori (ordine di grandezza 5-10 cm). Quando c'è spazio per un riempimento (solitamente al secondo livello) questo è fatto con terra, ciottoli e detriti di ogni tipo.

Malta: NR – malta argillosa pulvirulenta.

Sfalsamento verticale dei giunti: NR – assente, anche a causa dell'insufficiente dimensione delle pietre.

Orizzontalità dei filari: NR – assente

Ingranamento trasversale: NR – il paramento esterno e quello interno sono accostatati l'uno all'altro. Talvolta, quando lo spessore del muro in rapporto alle dimensioni massime degli elementi lo richiede, è presente un debole riempimento fra i due paramenti.

Indice di qualità muraria: IQM = 0 ; categoria muratura: C (bassa).





Figura 4902682-9: Cordolo di copertura dell'U.S. 3. Si notino i travetti in legno che entrano nel cordolo e la volta a botte che conduce al cortile interno.



Figura 4902682-10: Cordolo di copertura dell'U.S. 2. Si noti la trave in legno che entra nell'angolo del cordolo.



Figura 4902682-11: Antica catena in legno con estremità deteriorata e con capochiave in acciaio. Muratura circostante di scarsa qualità.



Figura 4902682-12: Capochiave in acciaio in direzione trasversale rispetto all'asse della schiera. Da sinistra si vedono: le U.S. 11, 13 e la 14 (a due piani). L'U.S. 11 ha il paramento murario stilato di recente.



Figura 4902682-13: Antico cordolo in legno nella U.S. 11. La parte a sinistra, crollata, è la U.S. 10. Forse il cordolo in legno, formato da due travi in legno di forma circolare chiodate sull'angolo, ha indebolito la muratura. Si noti anche il capochiave in acciaio al piano inferiore.



Figura 4902682-14: U.S. 17. Si tratta della cellula di testata della parte a schiera dell'aggregato in esame. La catena in acciaio nel mezzo della parete costituisce un elemento che favorisce la separazione dei due paramenti murari esterno ed interno. Questa catena, probabilmente, risale al periodo di poco successivo al sisma del 1915.

## ***Ipotesi sulle cause del danneggiamento ed individuazione dei meccanismi di collasso***

### **Unità strutturali 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 e 10**

Si tratta di U.S. che hanno subito il crollo totale. La probabile causa è da ricercarsi nella debolezza della muratura e, in particolare, della malta.

Nel caso della U.S. 6 tale disgregazione si è avuta solo per la parete in comune con la U.S. 3 che, presumibilmente, ha martellato contro la stessa U.S. 6.

### **Unità strutturale 7**

Si tratta di una costruzione ad un solo piano di forma rettangolare che sostanzialmente ha resistito. Va notato che tale U.S., di fatto, confina con le altre U.S. dell'aggregato solo in minima parte, essendo libera su tre lati.

### **Unità strutturale 11**

Questa U.S. ha subito il crollo del solo paramento esterno della parete comune con la U.S. 10. La muratura della U.S. 11 appare ristilata di recente e la U.S. stessa è dotata di catene in direzione trasversale mentre lungo la direzione longitudinale ha beneficiato dell'effetto di contrafforte dell'adiacente U.S. 13.

### **Unità strutturale 13**

La U.S. 13 è di altezza superiore rispetto all'adiacente U.S. 14 e pertanto si sono innescati alcuni meccanismi di ribaltamento degli spigoli dell'ultimo piano della stessa U.S. 13 con cerniera di rotazione in corrispondenza della copertura della U.S. 14.

### **Unità strutturali 14, 15 e 16**

Si tratta di U.S. che hanno resistito evitando il collasso ma riportando solo danneggiamenti. Esse hanno due piani e sono situate all'interno della schiera.

### **Unità strutturale 12**

Tale cellula, posta sul lato esterno dell'aggregato, ha subito il ribaltamento della parete Sud.

### **Unità strutturale 17**

Si tratta della cellula di testata della schiera che ha subito un rovinoso crollo. Anche la muratura di questa U.S. è di scarsa qualità e le catene sono risultate inefficaci.

Per una migliore comprensione di quanto detto si riportano in Figg. 15 e 16 sotto alcune viste della zona Ovest dell'aggregato con indicazione del numero di riferimento delle U.S.



Figura 4902682-15: Numerazione delle U.S. lato su via degli Oppieti

Figura 4902682-16: Numerazione delle U.S. sulla campagna, lato Sud

### **Aggregato 4902635**

In Fig. 1 si riporta una pianta di questo aggregato. Al suo interno si sono potute rilevare due U.S. (2 e 15) costruite intorno all'inizio degli anni '70 che hanno subito danneggiamenti lievi. In Fig. 2 si riportano le viste dall'alto di come si presentavano queste US prima del sisma. Entrambe le U.S. sono costituite da due piani fuori terra più un sottotetto di modeste dimensioni. L'analisi di tali strutture ha consentito di fare alcune considerazioni sulla risposta di strutture ben costruite ed in grado di rispondere alle azioni sismiche come sistemi scatolari chiusi.

La tipologia delle murature è costituita da blocchetti in calcestruzzo di medie dimensioni, regolari e disposti secondo la regola dell'arte con sfalsamento dei giunti, e malte cementizie con spessori idonei (ca. 10 mm) sia in verticale che in orizzontale. Gli orizzontamenti sono in calcestruzzo armato, con travetti tralicciati a nervature parallele monodirezionali con interposti elementi di alleggerimento e sovrastante getto in cls armato. Sul perimetro e al di sopra delle murature interne, a livello di impalcato, le suddette nervature sono ancorate a cordoli in c.a. che "serrano" il piano connettendo tutti i pannelli murari costituenti il sistema sismo-resistente. Tutti i livelli del fabbricato, compresi sottotetti e coperture, sono realizzati con questo sistema.

L'omogeneità strutturale a livello di impalcati e di murature ha garantito un comportamento "scatolare" al fabbricato veicolando la risposta sismica principalmente verso meccanismi di II Modo (nel piano delle murature) ed evitando significativi impegni per azioni ortogonali grazie alla presenza di vincoli efficaci sulle quinte murarie (cordoli orizzontali e connessioni murarie verticali ben eseguite). Queste U.S., pur se inserite in un sistema molto più complesso dove si evidenziano anche situazioni di crollo significativo, hanno resistito conservando un buon livello di resistenza e di duttilità.

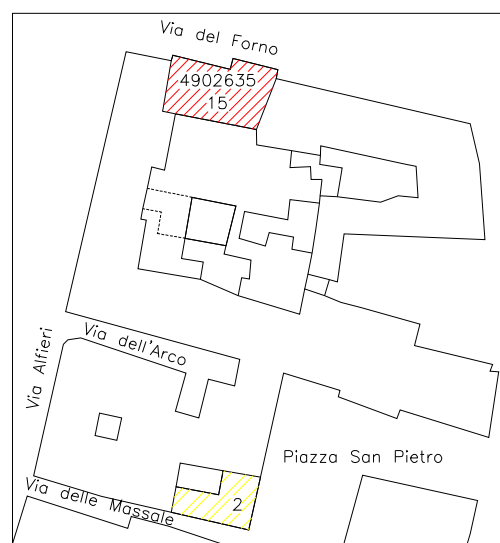


Figura 4902635-1. Pianta dell'aggregato con suddivisione in unità strutturali (US) e indicazione delle vie circostanti.



Edificio 2 vista da est



Edificio 15 vista nord



Edificio 15 vista sud

Figura 4902635-2: Viste di alcuni edifici dell'aggregato prima del sisma



### **Aggregato 4902606-4902685**

Una ulteriore conferma della validità del sistema costruttivo basato sulla muratura di blocchi di calcestruzzo è evidenziata dagli aggregati n° 4903606 e n° 4902685 ed.5, entrambi costituiti da una singola U.S., il primo costituito da quattro piani: un seminterrato, un piano terra, un piano primo ed un sottotetto ed il secondo invece ad un solo piano (Fig. 1).

In Fig. 2 si riportano le viste dall'alto di come si presentava l'aggregato 4903606 prima del sisma.

La risposta sismica di queste strutture è stata caratterizzata da danneggiamenti molto lievi alle strutture verticali, con un mantenimento della resistenza e della duttilità tale da garantire la piena efficienza anche successivamente all'evento più significativo.

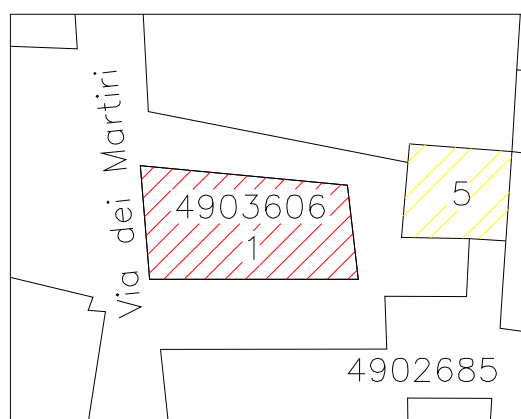
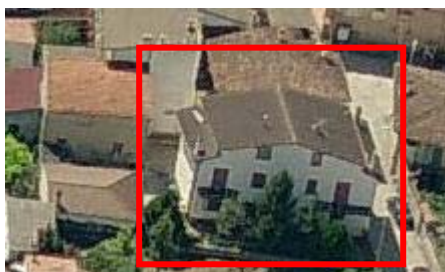


Figura 4902606-4902685-1: Pianta dell'aggregato con suddivisione in unità strutturali (US) e indicazione delle vie circostanti.



Edificio 1 vista da ovest



Edificio 1 vista nord



Edificio 1 vista sud

Figura 4902606-4902685-2: Vista dell'aggregato prima del sisma

### **Aggregato 4902640-4902641**

Gli aggregati n° 4902641 e n° 4902640 comprendono la Scuola Materna di Onna, che è delimitata ad Est da via dei Martiri, a Nord dal giardino interno a confine con l'aggregato 4902566, ad Ovest con via Alfieri ed a Sud da un cortile interno a confine con l'aggregato 4902639.

L'edificio, isolato e di forma abbastanza regolare e compatta si sviluppa per un solo livello di altezza media pari a circa 3.5m.

La disposizione planimetrica delle unità strutturali è visibile in Figura 1.

Nelle Figg. 2, 3, 4 e 5 si riportano le quattro viste dall'alto prima del sisma.

Gli aggregati non hanno subito danni che possano pregiudicare la stabilità dell'u.s., in quanto le uniche lesioni presenti all'interno dell'aggregato 4902641 sono capillari e presenti su tramezzature.

Una lesione in corrispondenza di un incrocio murario (Fig. 6) non è passante (possibile indebolimento in corrispondenza di una traccia per passaggio impianti elettrici).

La lesione presente all'esterno in corrispondenza di una finestra (Fig. 7) non è sulla struttura ma su una fodera eseguita qualche anno fa, probabilmente per motivi di isolamento termico, forse in cartongesso.

Le strutture portanti verticali del corpo principale (aggregato 4902641) sono interamente in muratura portante di mattoni pieni, le murature dell'ampliamento giuntato (aggregato 4902640) sono realizzate in blocchi di laterizio tipo poroton. Entrambi sembrano eseguite secondo la regola dell'arte.

La costruzione dell'u.s. principale risale agli anni '50 ed ha subito, a detta degli abitanti del luogo, vari interventi strutturali fino ad arrivare al recente intervento di ampliamento.

L'assenza di danno alle strutture portanti può essere attribuita ad un comportamento scatolare ed alla forma compatta e abbastanza regolare, alla presenza di murature portanti con interassi contenuti, a buone connessioni murarie, a solai in latero-cemento cordolati e ad aperture ben concepite e sufficientemente distanziate dalle zone d'angolo.

Nelle Figg. 8 e 9 si riportano alcune viste dall'esterno della situazione attuale.

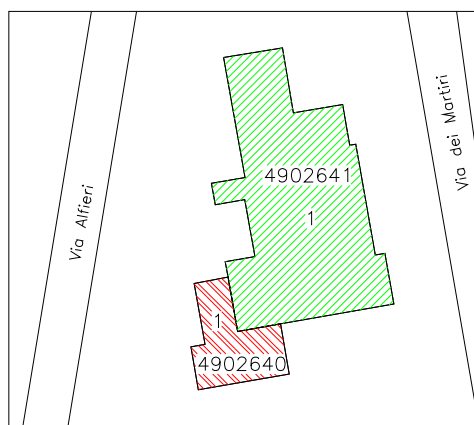


Figura 4902640-4902641-1: Pianta dell'aggregato con suddivisione in unità strutturali (US) e indicazione delle vie circostanti.





Figura 4902640-4902641-2: Vista da Sud.



Figura 4902640-4902641-3: Vista da Est.



Figura 4902640-4902641-4: Vista da Nord.



Figura 4902640-4902641-5: Vista da Ovest



Figura 4902640-4902641-6: Lesione capillare interna su incrocio murario



Figura 4902640-4902641-7: Lesione capillare esterna



Figura 4902640-4902641-8: Vista da Via dei Martiri



Figura 4902640-4902641-9: Vista da Via Alfieri

## Aggregato 4902689

In questa sezione si riportano i risultati dello studio di un telaio in c.a., ancora in costruzione, che presenta un danneggiamento esteso a tutti i pilastri del primo livello fuori terra (Fig. 1). L'edificio, che è identificato con il numero di aggregato 4902689, ha dimensioni in pianta di 8 m in direzione trasversale e 20 m in direzione longitudinale, ha piani ultimati (due fuori terra ed un seminterrato), oltre ad un sottotetto non praticabile ancora in fase di realizzazione. L'altezza di interpiano (quota estradosso solai) è di 3 m al piano seminterrato, 3.15 m al piano terra e 3.05 al piano primo. I pilastri hanno tutti sezione 30 x 50 cm, così come le travi disposte in entrambe le direzioni principali a formare un grigliato sismo-resistente bidirezionale. Sono presenti alcune travi in spessore di solaio, ma non hanno funzione di controventamento all'interno della struttura intelaiata (Fig. 2).



Figura 4902689-1: Edificio in costruzione

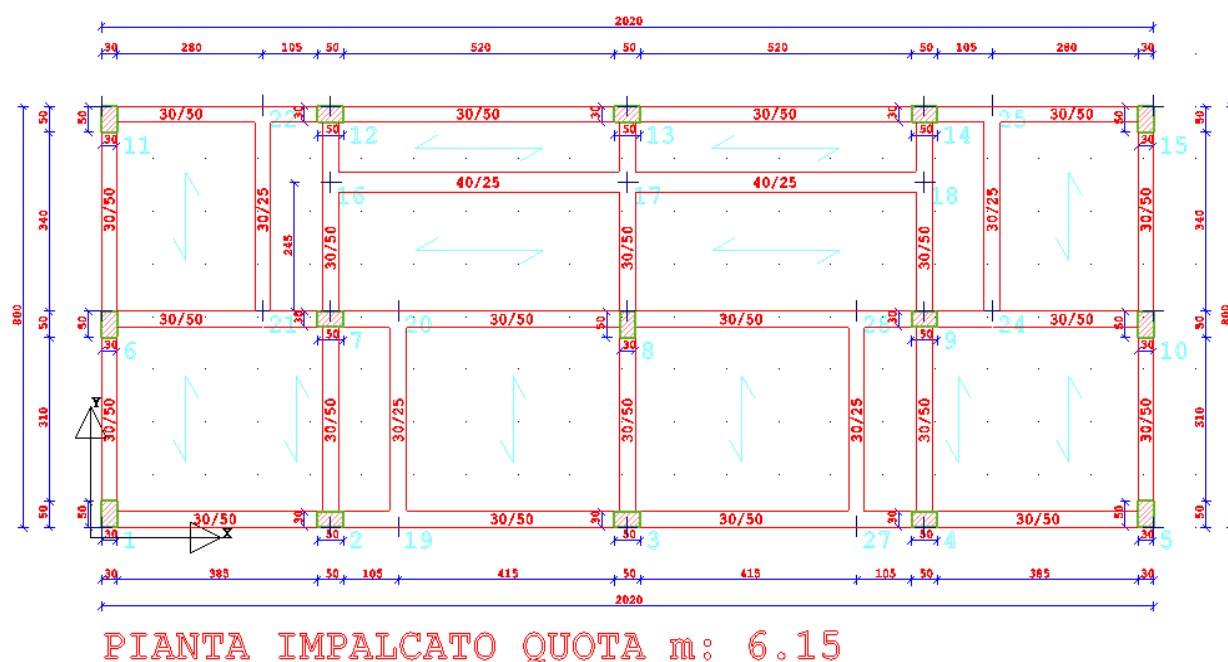


Figura 4902689-2: Pianta dell'impalcato tipo



Da una campagna di indagini sul calcestruzzo, effettuata tramite battute sclerometriche, si può assumere di classe di resistenza non inferiore a 30 MPa. La struttura risulta regolare in pianta mentre in elevazione, pur risultando geometricamente regolare, presenta al piano seminterrato una chiusura in blocchi di cls a sostegno del terreno retrostante (Fig. 3a). A questo livello si sviluppa una finestra a nastro che lascerebbe prevedere comportamenti a “pilastro tozzo”. Invece il danneggiamento, concentrato al piede ed in testa di tutti i pilastri del piano terra, ossia al livello superiore, non corrisponde a questo tipo di comportamento. Analisi di *pushover* sul modello completo (Fig. 3a) hanno portato a distribuzioni di cerniere plastiche (al piano terra) non compatibili con i danni osservati. Pertanto si è pensato di ricorrere ad un modello dei soli piani fuori terra (Fig. 3b) per effettuare nuove analisi di spinta.

Osservando la Fig. 4 si nota la presenza, in corrispondenza di un ripresa di getto, di un “giunto freddo” all’interfaccia pilastro-travi del piano terra. Tale fonte di vulnerabilità è stata documentata già in passato (si riporta in Fig. 5 uno schema estratto da un trattato di ingegneria sismica). E’ ragionevole pensare che le barre non trattenute da staffe (la prima è a circa 15-20 cm dalla testa del pilastro) abbiano assorbito una parte del taglio agente sul pilastro per “effetto spinotto”, espellendo il calcestruzzo del copriferro, non dando luogo a significative dissipazioni di energia.

Le “tradizionali” simulazioni numeriche non riescono a cogliere questo effetto, pertanto si è pensato ad un affinamento di modellazione <sup>(1)</sup> inserendo delle “sconnessioni spinotto-attrittive” che tengano conto di due contributi alla resistenza tagliante in quella zona: uno di tipo puramente attrittivo dovuto ai carichi gravitazionali ed uno dovuto alla resistenza a taglio delle barre di armatura verticali presenti all’interno del pilastro (“effetto spinotto”), con due possibili meccanismi di collasso (tranciamento della barra o espulsione del calcestruzzo del copriferro). Nel caso specifico (telaio poco caricato perché in costruzione) si è scelto di non considerare la componente attrittiva. Inoltre bisogna considerare che la componente verticale del sisma, in zona epicentrale di solito molto significativa, potrebbe aver causato una ulteriore riduzione del carico verticale agente sui pilastri. Queste analisi sono state effettuate con il modello di Fig. 3b.

Simulando la presenza di un “giunto freddo” in corrispondenza delle riprese di getto si riesce a riprodurre il panorama del danneggiamento realmente osservato sulla struttura. Questo permette di stimare il livello di azione sismica corrispondente, fornendo in maniera indiretta una stima dello scuotimento a Onna. Le analisi hanno consentito di ottenere curve di capacità e spettri ADSR nettamente più bassi rispetto a quelli che si ottengono considerando il collasso a pressoflessione. In definitiva si è ricavato lo spettro di risposta elastico che provoca nel telaio lo stato di danno osservato. Questo spettro ha una PGA di 0.24 g. Tenendo conto che la forma assunta per lo spettro è quella prevista dal DM 14/1/2008 per L’Aquila (coefficiente  $F_0$  pari a circa 2.4), ne consegue che le ordinate spettrali per i periodi di interesse delle costruzioni di Onna, dovrebbero essere state di circa 0.57 g.

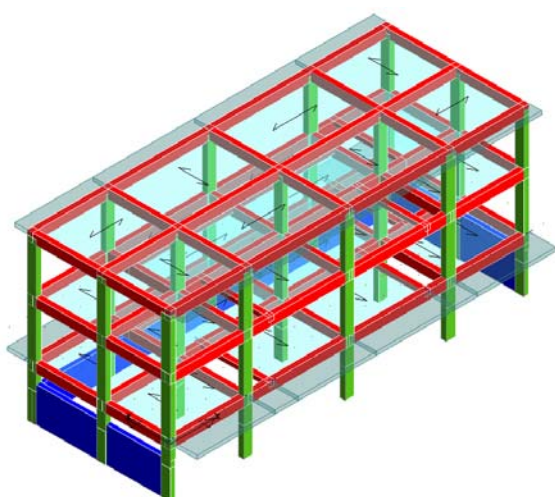


Figura 4902689-3a: Modello globale per le analisi preliminari

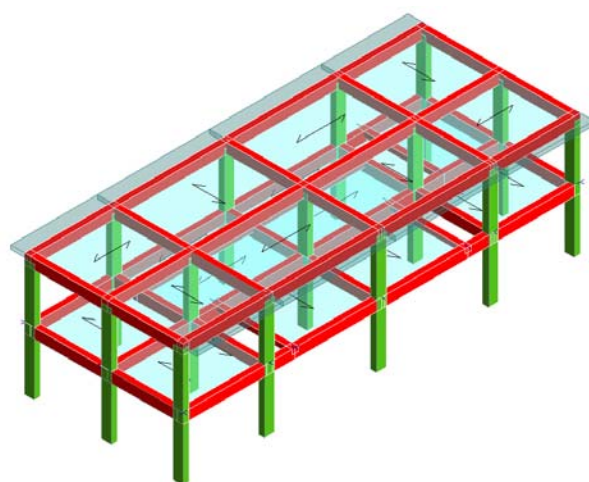


Figura 4902689-3b: Modello di altezza ridotta per le analisi definitive

<sup>1</sup> Si ringrazia la società S.T.S. s.r.l. per il software utilizzato nelle elaborazioni numeriche



Figura 4902689-4: Dettaglio che evidenzia la netta soluzione di continuità tra i getti.

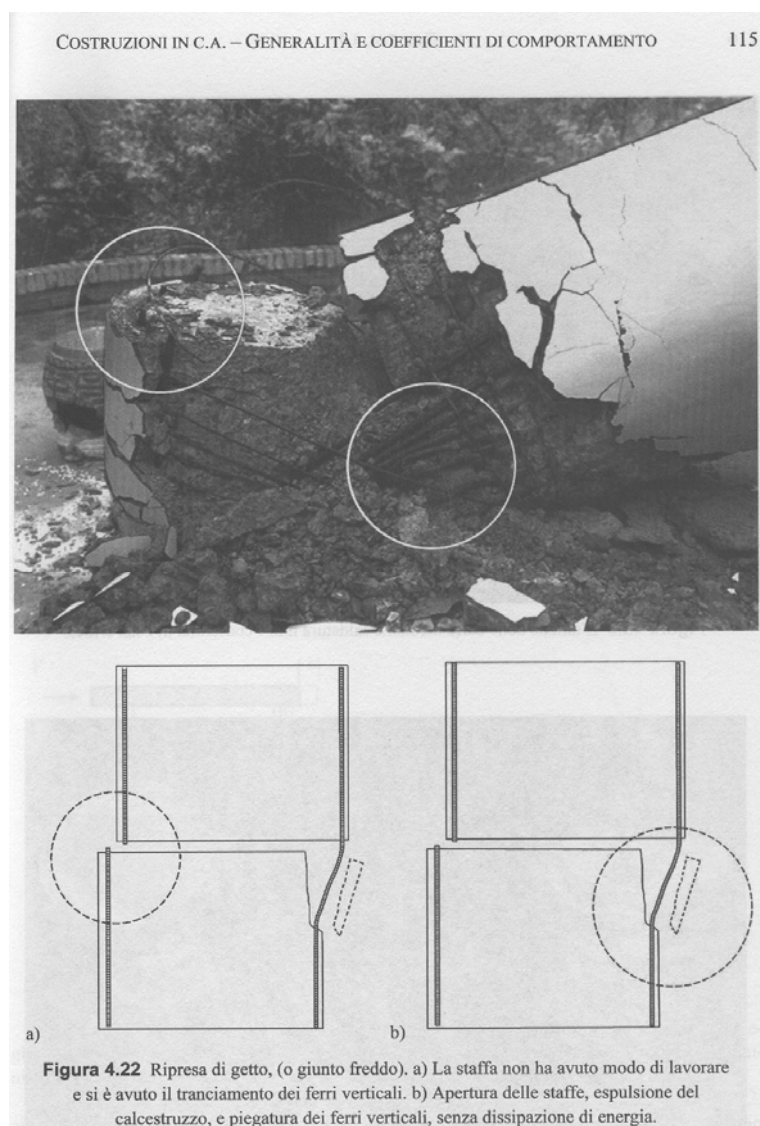


Figura 4902689-5: Meccanismo di “giunto freddo” (da “Costruzioni in Zona Sismica” di A.Castellani e E.Faccioli, pag. 115).

# **Analisi delle direzioni dei meccanismi di collasso**

## **B.1 Introduzione**

Nel § 2.8 si è già discusso della parte del lavoro che ha avuto la finalità di analizzare, nei casi in cui è possibile, la direzione ed il verso dei principali meccanismi di collasso riscontrati sugli edifici di Onna per ipotizzare una direzione preferenziale dell'onda sismica del 6 aprile.

Un'analisi di questo genere ha presentato numerosi aspetti critici. Di seguito si elencano tali difficoltà e si spiega come si è cercato di risolverle.

In primo luogo va detto che non tutte le strade di Onna sono percorribili in sicurezza e pertanto non sempre è stato possibile osservare in condizioni ottimali gli edifici lesionati e non sempre sono stati osservati da tutti gli angoli visuali. Talvolta si è fatto ricorso ad immagini fotografiche adeguatamente ingrandite, tuttavia alcuni edifici che non è stato possibile osservare non sono stati presi in considerazione per l'analisi esposta in questo paragrafo.

Inoltre molti edifici sono totalmente crollati. In tal caso è impossibile sia riconoscere il meccanismo di collasso che ha originato il crollo sia riconoscere la sua direzione.

Sarebbe fuorviante, in tali casi, basarsi sulla posizione delle macerie in terra in quanto esse sono state rimosse e riposizionate più volte dopo il sisma del 6 aprile.

Nel caso dei meccanismi "misti", ad esempio una parete che ribalta fuori piano e si trascina un cuneo del muro di spina, sono stati segnalati sia il meccanismo fuori piano della prima parete sia il meccanismo di piano della parete di spina. Essi, ovviamente, hanno la stessa direzione e lo stesso verso.

Nel caso in cui si sono osservati crolli di una sola parete con macerie poste davanti all'impronta della stessa parete, si è segnalato il meccanismo fuori piano di tale parete, basandosi sul fatto che il resto dell'edificio spesso, in tali casi, non mostrava segni di azioni nel piano e che, solitamente, le azioni nel piano portano al crollo più raramente di quelle fuori piano e che in tal caso il crollo è più esteso e non localizzato ad una sola parete.

Laddove il crollo totale dell'edificio ha lasciato intuire una direzione preferenziale dell'azione sismica si è segnalato convenzionalmente il meccanismo fuori piano riferito all'intero edificio. Ad esempio, è questo il caso di edifici crollati ma la cui copertura, rimasta sostanzialmente compatta, ha presentato evidenti dislocazioni rispetto all'impronta dell'edificio.

La rappresentazione grafica adottata (Fig. 2-11) è semplicissima: sulla pianta di Onna si sono riportati i meccanismi che è stato possibile individuare e le loro direzioni e versi tramite delle frecce bianche per i cinematismi nel piano e delle frecce rosse per i meccanismi fuori piano.

Ogni meccanismo è rappresentato da un numero, riportato anch'esso nella pianta di Onna, a cui è associata una fotografia dell'edificio in esame.

## **B.2 Descrizione dettagliata dei meccanismi di collasso**

Di seguito si descrivono in maniera estremamente sintetica i meccanismi di collasso analizzati, utilizzando la stessa numerazione riportata nella pianta di Onna (Fig. 2-11).





1 - Lesioni per taglio sui maschi murari degli edifici a sinistra. Presenza di martellamento fra edifici adiacenti

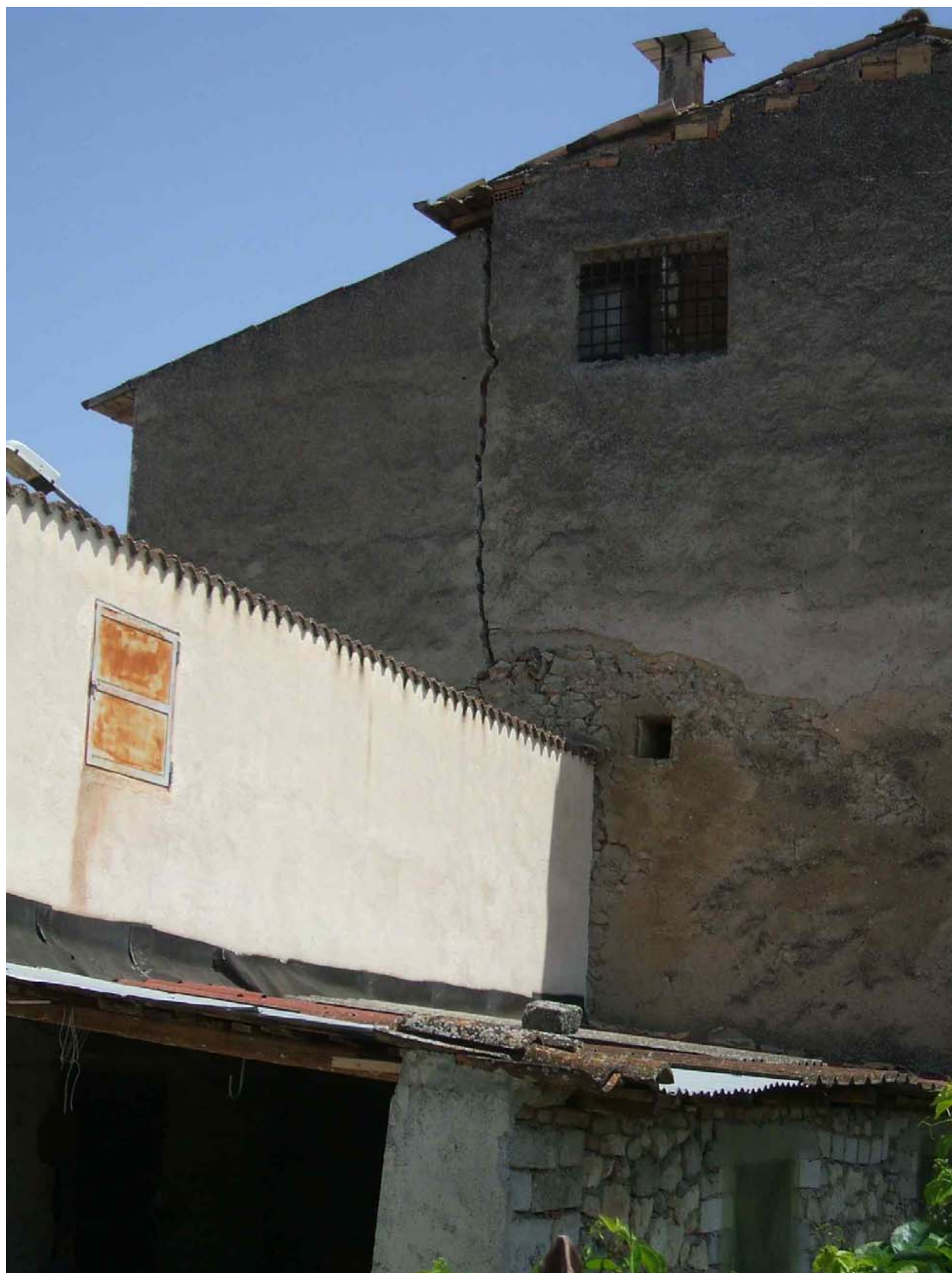


2 - Espulsione dello spigolo, principalmente verso la strada ma con una componente anche verso l'osservatore della foto.





3 - Movimento (rotatorio) in fuori verso la strada dell'intero edificio sulla sinistra. Tale moto è testimoniato sia dal distacco dell'edificio in esame rispetto a quello adiacente sia dallo sfilamento del cordolo (non chiuso) sopra l'ultima finestra sia dalle lesioni di scorrimento della parte in basso a destra dell'edificio.



4 - Si tratta dello stesso edificio della foto 3 ma visto dal lato opposto.





5 - Lesioni nel piano dell'edificio di sinistra sopra l'architrave e sul fregio al livello del primo solaio. Sulle pareti di via Massale, seminascondi dalla puntellatura, si notano ribaltamenti ed espulsioni fuori piano localizzate alle zone murarie sopra le finestre dell'edificio di sinistra



6 - Presso flessione verticale fuori piano del piano terra dell'edificio giallo sulla sinistra. Il primo maschio murario sulla sinistra sembra presentare anche lievi segni di taglio, tuttavia il fenomeno fessurativo prevalente in assoluto è il grande fuoripiombo di tutte le pareti del piano terra. Segnali visibili dalla foto sono: le deformazioni permanenti sulle spallette della porta e la separazione dei paramenti murari visibile sulla spalletta destra della porta.





7 - Meccanismo misto con espulsione fuori piano dello spigolo e trascinamento di un cuneo del muro di spina. Dalle tre fotografie si ricostruisce il moto dei macroelementi ed il cinematismo attivato.



8 - Meccanismo di piano con lesioni sulla facciata dell'edificio in primo piano e scorrimento di un mattone nell'archetto al terzo livello. L'intero quadro fessurativo conferma un'ipotesi di movimento della facciata da destra verso sinistra: le lesioni di taglio monodirezionali sui maschi murari e le dislocazioni delle cornici bianche delle finestre.





9 - Presso flessione fuori piano di una tesa muraria di tre livelli. Notare la spaccatura a metà circa (cerniera orizzontale intermedia del meccanismo di presso flessione) in corrispondenza di un indebolimento della sezione muraria.



10 - Ribaltamento fuori piano delle pareti degli edifici a sinistra.





11 - Scorrimento verso destra e verso l'osservatore della foto della parte superiore dell'annesso ad un piano. Si noti, sull'annesso, la lesione di scorrimento dei mattoni presente sul maschio murario di sinistra. Lesione di scorrimento (nel piano) sulla parete di testata dell'aggregato e principio di ribaltamento fuori piano della parete laterale sinistra.



12 - Lesioni a taglio (nel piano) sugli edifici a sinistra (via Ludovici) sia sulle murature sia sulle tamponature del telaio in c.a.





13 - Movimento del telaio di c.a. in primo piano da destra verso sinistra: l'angolo formato dalla trave e dal pilastro del telaio sembra acuto a causa della deformazione dovuta al sisma. Una parete in muratura ribalta fuori piano nella stessa direzione. L'edificio di tre livelli in muratura visibile in secondo piano si muove nella stessa direzione.



14 - Lesioni nel piano degli edifici sulla sinistra. Martellamenti ed interazioni fra i due edifici di differente altezza.





15 - Lieve distacco di tamponatura dalla trave in c.a. La tamponatura tende ad andare fuori piano. Si tratta di tamponatura confinata superiormente da uno sbalzo che parte dalla trave del telaio in c.a. arretrato rispetto al filo esterno dell'edificio. La tamponatura al piano terra solitamente è in pietrame; ai piani superiori invece è quasi sempre in laterizi forati.



16 - Meccanismo nel piano del “torrino”; si può osservare anche su un altro torrino vicino. Il pilastro snello si lesiona per flessione, il maschio tozzo per scorrimento/taglio.





17 – 18 Meccanismo misto molto complesso, coinvolge entrambe le direzioni. L'edificio verde presenta un cordolo sommitale in copertura e tiranti (sia di acciaio che di legno) disposti in entrambe le direzioni ma non su tutte le pareti. Inoltre l'edificio è molto alto e molto stretto su un lato. Sembra possibile anche l'innescò di fenomeni di interazione di tipo torcente.



19 - Ribaltamento fuori piano della parete dell'edificio a destra, di fronte alla navata destra della chiesa. Sullo stesso edificio c'è una forte dislocazione in direzione ortogonale (meccanismo nel piano della facciata sulla piazza della chiesa) testimoniata da numerosi segnali: la spalletta sinistra della porta a piano terra, il tramezzo interno ruotato, lo spigolo sinistro dell'edificio con lesioni che lasciano intuire un movimento dell'intero secondo solaio dell'edificio verso sinistra.





20 - Meccanismi che probabilmente si sono verificati per azione sismica in direzione ortogonale a via dei Calzolari e con verso alternato. Infatti le due coperture presentano entrambe con una forte dislocazione verso via dei Calzolari. Meno probabile appare un loro scivolamento su muratura sbriciolata da un sisma con direzione parallela a via Calzolari: sarebbero atterrate con dislocazioni prevalenti su via degli Oppieti.



21 - Meccanismi nel piano sugli edifici a destra nella foto.





22 - Meccanismi fuori piano sull'edificio di foto 21, questa volta interessa osservare la parete ortogonale a quella di foto 21. Espulsione fuori del piano del paramento esterno e altri meccanismi fuori piano.



23 - Parete con intonaco armato in fase di esecuzione che ha subito un meccanismo fuori piano. Ciò appare desumibile dalla posizione delle macerie e della fascia superiore di intonaco armato, ancora dislocata nella direzione del collasso della parete sottostante. I due fogli di intonaco armato, quello superiore e quello inferiore, erano ancora totalmente scollegati.





24 - Lesione di taglio al piano terra ed al primo livello del maschio murario centrale dell'edificio con intonaco rosa.



25 - Espulsione fuori piano della parete fra le due finestre al secondo livello della casa a sinistra. Appare improbabile il meccanismo di piano perché le altre pareti non hanno lesioni nel piano.





26 - Fuoripiombo dello spigolo.



27 - Forte dislocazione, congruente con lo spigolo fuoripiombo della foto 26. Si noti la spalletta sinistra della porta a piano terra.





28 - Telaio in c.a. a destra: lesioni sulla tamponatura per taglio; edificio in muratura a sinistra: crollo della parete in pietrame e traslazione rigida del piano sopra in blocchi. La direzione della traslazione, congruente con le lesioni a taglio della tamponatura del telaio in c.a., potrebbe indicare la direzione del sisma.



29 - Un crollo con la direzione che appare ben definita e che è congruente con quanto esposto per gli edifici di foto 28 molto vicini a quello ora in esame.





## Appendice C

# Tabelle di analisi della qualità muraria

<b>OR - ORIZZONTALITÀ DEI FILARI</b>
<b>ORIZZONTALITÀ RISPETTATA</b> L'allettamento del filare interessa gran parte della larghezza del paramento murario. La stessa situazione si deve presentare per tutta l'altezza del muro, senza presentare interruzioni di continuità.
<b>PARZIALMENTE RISPETTATA</b> La diffusione dei tratti orizzontali interessa parzialmente (meno 3/4) l'intera lunghezza della parete muraria. Devono inoltre essere diffusi per gran parte dell'altezza del pannello murario, presentando solo localmente delle interruzioni di continuità.
<b>NON RISPETTATA</b> I tratti orizzontali sono continuamente interrotti o presentano evidenti sfalsamenti lungo l'intera parete muraria.

<b>SG - SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI</b>
<b>RISPETTATO</b> Si ritiene tale quando nella muratura il giunto verticale di malta si trova generalmente in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore. Non devono comunque essere presenti zone con allineamento verticale dei giunti.
<b>PARZIALMENTE RISPETTATO</b> Il giunto verticale di malta si trova mediamente in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo. Non devono comunque essere presenti zone con allineamento verticale dei giunti.
<b>NON RISPETTATO</b> I giunti verticali di malta si trovano allineati; oppure come nel caso in figura i giunti si allineano verticalmente interessando 2 o più elementi su ampie porzioni della parete.

<b>FD - FORMA E DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI</b>
<b>REGOLARI GRANDI</b> Blocchi di pietra perfettamente squadrata di forma parallelepipedica, di grandi dimensioni: l = 30 ÷ 50 cm s = 15 ÷ 25 cm h = 10 ÷ 20 cm
<b>REGOLARI - MEDIE</b> Blocchi di pietra squadrata di forma parallelepipedica, di medie dimensioni: l = 20 ÷ 35 cm s = 10 ÷ 15 cm h = 8 ÷ 15 cm
<b>PARZIALMENTE REGOLARI – MEDIO PICCOLE</b> Blocchi di pietra sbazzata di forma tendenzialmente parallelepipedica, di medie e piccole dimensioni; mattoni: l = 15 ÷ 25 cm s = 5 ÷ 15 cm h = 5 ÷ 15 cm
<b>IRREGOLARI – MEDIO PICCOLE</b> Blocchi di pietra di forma irregolare e diverse tra di loro, di medie e piccole dimensioni: l = 15 ÷ 25 cm s = 5 ÷ 15 cm h = 5 ÷ 15 cm
<b>IRREGOLARI – PICCOLE</b> Blocchi e scaglie di pietra, di forme irregolari, di dimensioni minute.

<b>PD - ELEMENTI ORTOGONALI AL PIANO DELLA MURATURA</b>	
<b>PRESENTI</b>	
<b>Forma e dimensione degli elementi</b>	<b>Numero diatoni / m<sup>2</sup> di parete</b>
Regolari grandi	2
Regolari - medie	3
Parzialmente regolari – medio piccole	4
Irregolari – medio piccole	6
Irregolari – piccole	6
<b>PARZIALMENTE PRESENTI</b>	
<b>Forma e dimensione degli elementi</b>	<b>Numero diatoni / m<sup>2</sup> di parete</b>
Regolari grandi	1
Regolari - medie	1 – 2
Parzialmente regolari – medio piccole	2 – 3
Irregolari – medio piccole	3 – 4 – 5
Irregolari – piccole	4 – 5
<b>NON PRESENTI</b>	
<b>Forma e dimensione degli elementi</b>	<b>Numero diatoni / m<sup>2</sup> di parete</b>
Regolari grandi	0
Regolari - medie	0
Parzialmente regolari – medio piccole	0 – 1
Irregolari – medio piccole	0 – 1 – 2
Irregolari – piccole	0 – 1 – 2 – 3

#### **MA - QUALITÀ DELLA MALTA**

##### **MALTA IN BUONO STATO**

Malta idraulica. In tale definizione viene compresa anche la malta cementizia e quella pozzolanica, cioè realizzata a base di cemento. La conservazione delle caratteristiche di resistenza meccanica e le stilature dei giunti devono essere in buono stato.

##### **MALTA DI MEDIA QUALITÀ**

Malta realizzata utilizzando come legante la calce idrata (o aerea), che si presenta ancora in buono stato di conservazione, mantenendo una discreta qualità. I giunti non sono eccessivamente scavati.

##### **MALTA SCADENTE**

Malta fortemente degradata e polverulenta del tutto priva di coesione. Malta assente (muratura costruita con elementi connessi a secco).

Presenza di giunti di malta di dimensioni paragonabili rispetto a quelle degli elementi ovvero con rapporto tra area di malta e area di un metro quadro di muratura superiore a 0,4.



SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA	
Parametro	voto
OR - orizzontalità dei filari	
Rispettata	2
Parzialmente rispettata	1
Non rispettata	0
SG - sfalsamento dei giunti verticali	
Rispettata	2
Parzialmente rispettata	1
Non rispettata	0
FD - forma e dimensione degli elementi	
Regolari – Grandi	2
Regolari - Medie	1.5
Parzialmente regolari – Medio piccole	1
Irregolari – Medio piccole	0.5
Irregolari - Piccole	0
PD - elementi ortogonali al piano della muratura “diatoni”	
Presenti (o muratura ad una testa)	3
Parzialmente presenti	1.5
Non presenti	0
MA - qualità della malta	
Malta idraulica in buono stato	1
Malta a base di calce in buono stato	0.5
Malta scadente	0



# Schede compilate

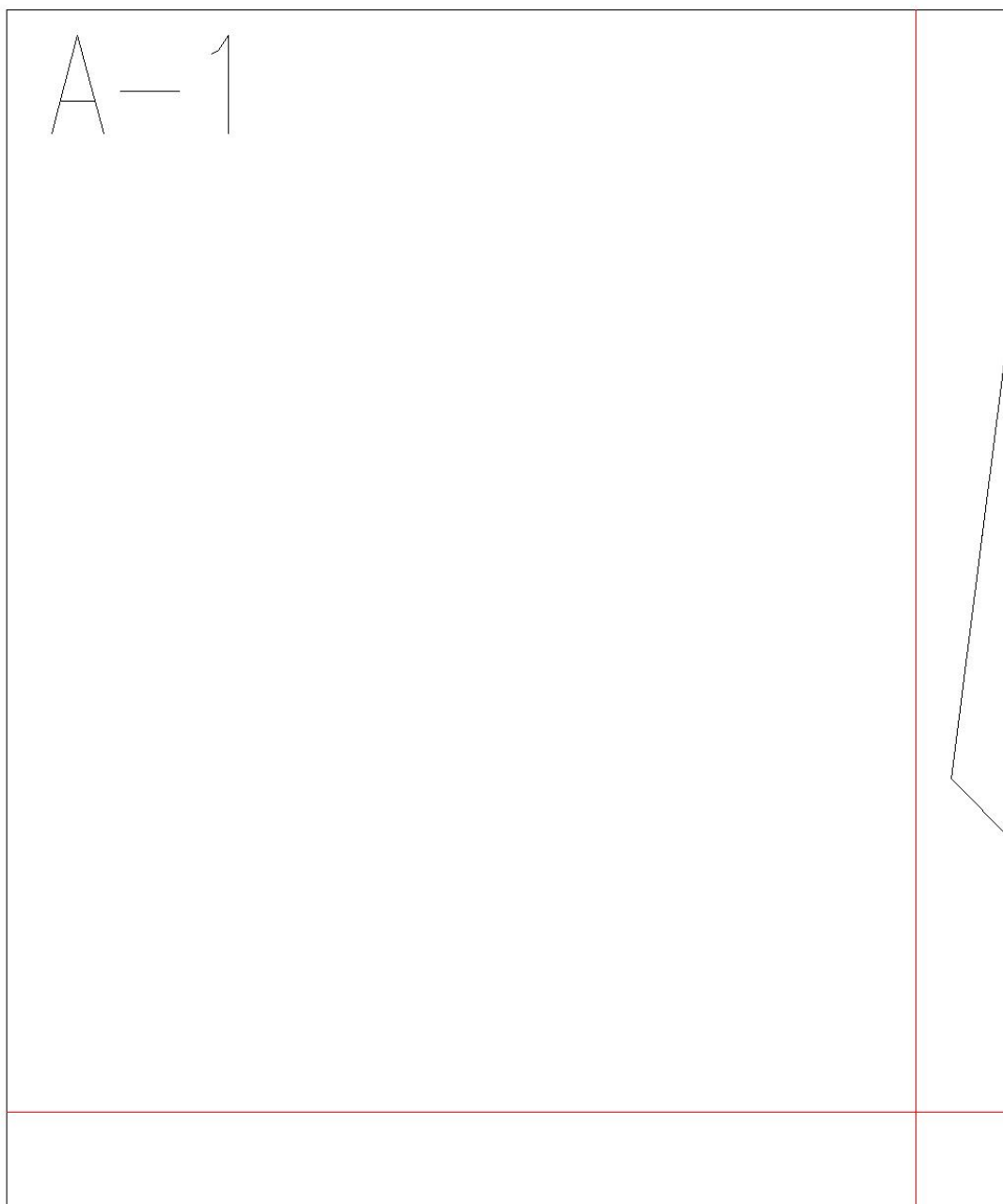
Di seguito si riportano le schede compilate secondo i criteri definiti nel Cap. 2. Per comodità di lettura si riportano di seguito i significati dei diversi campi.

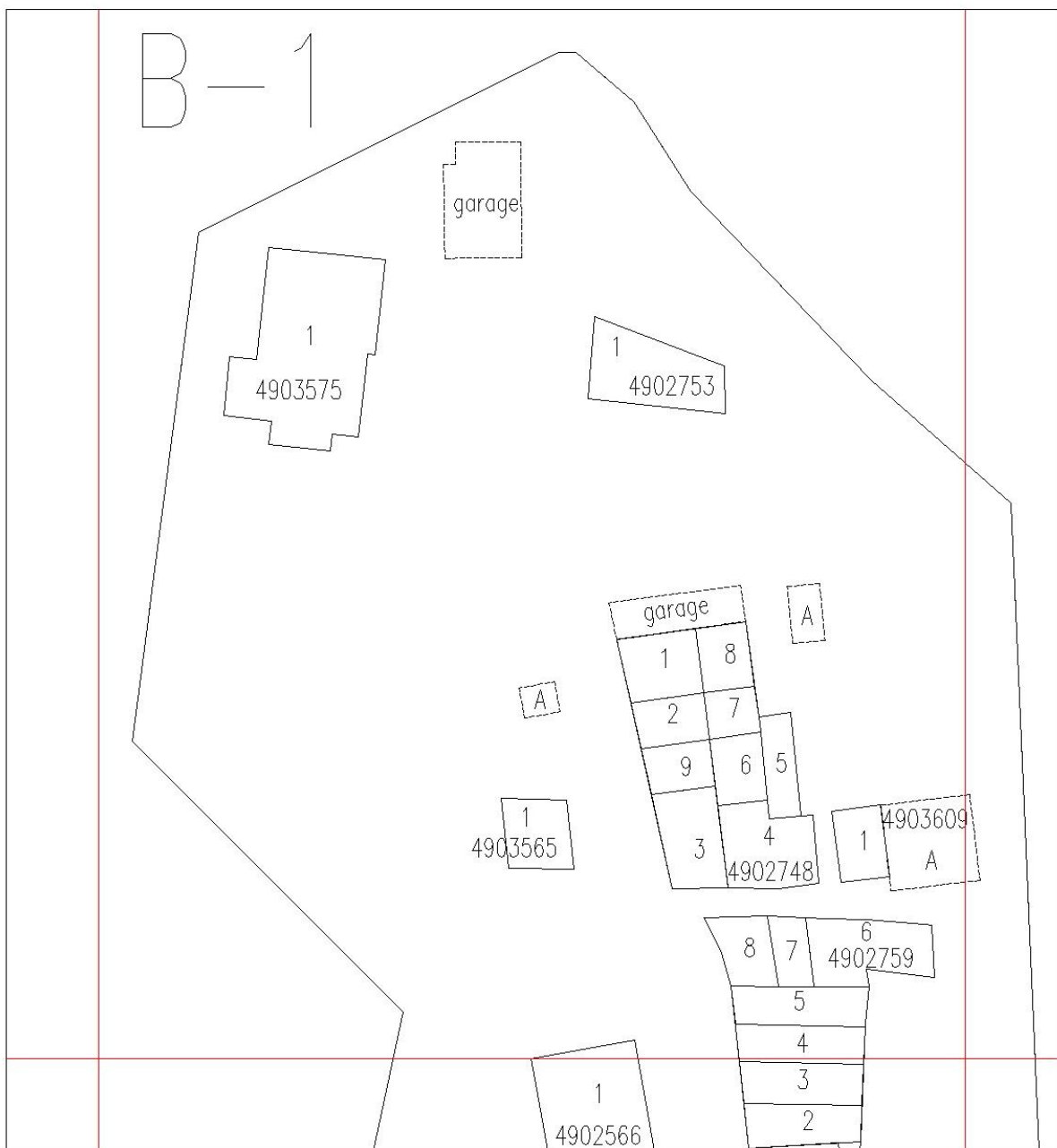
- Numero di Aggregato
- Numero di edificio (unità strutturale)
- Superficie (mq), valore indicativo non valido per fini catastali
- Numero di piani
- Volume (mc), valore indicativo, non valido per fini catastali
- Tipologia elementi verticali:
  - A - Pilastri di calcestruzzo armato
  - B - Setti di calcestruzzo armato
  - C - Muratura di mattoni
  - D - Muratura di pietrame
  - E - Muratura di blocchetti
  - F - Mista
  - N – Non rilevato
- Tipologia orizzontamenti
  - 1 - Calcestruzzo armato
  - 2 - Legno
  - 3 - Acciaio e voltine/tavelloni
  - 4 - Volte in muratura
  - NR – Non rilevato
- Tamponature collaboranti (SI/NO/NR)
- Piano Debole (1=SI/0=NO)
- Classe di vulnerabilità (da A a F secondo EMS-98)
  - A – terra cruda
  - A - muratura in pietrame irregolare con collegamenti poco efficaci
  - B - muratura in pietrame irr. con collegamenti efficaci (interventi di consolidamento)
  - B - muratura a tessitura regolare con collegamenti poco efficaci
  - C - muratura a tessitura regolare ben collegata
  - C - telai o setti in calcestruzzo armato senza progettazione sismica
  - D - muratura armata
  - D - strutture in legno
  - D - telai o setti in calcestruzzo armato con progettazione sismica "storica"
  - E - telai o setti in calcestruzzo armato con progettazione sismica "moderna"

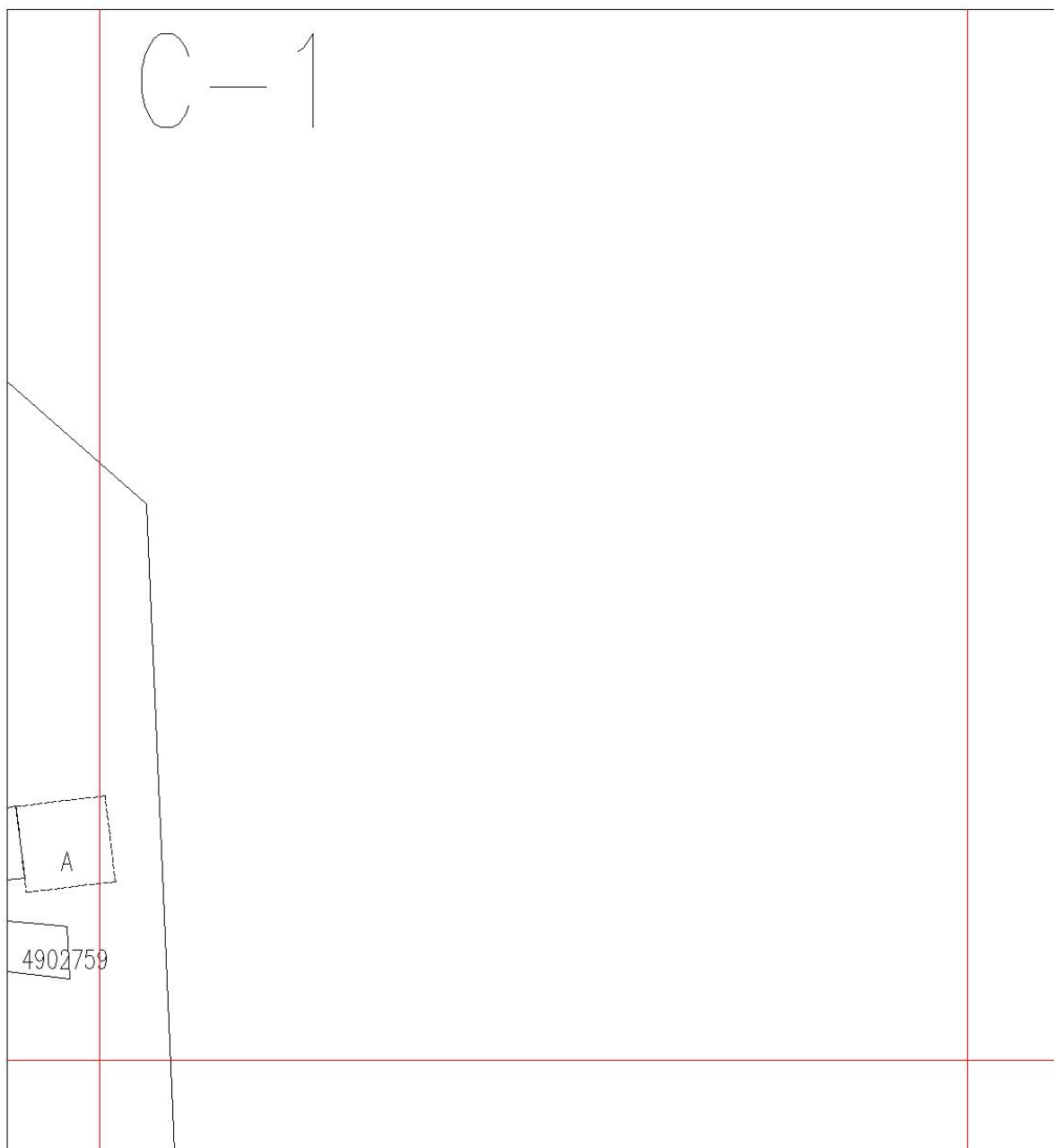
- E - struttura in acciaio
  - F - struttura con vulnerabilità molto bassa
  - NR – Non rilevato
- Tipologia di danno:
  - A - Piano debole
  - B - Meccanismo di piano
  - C - Pilastri tozzi
  - D - Rotture a taglio pilastri
  - E - Espulsione paramento muratura
  - F - Muratura: meccanismo nel piano
  - G1 - Muratura: meccanismo fuori piano (ribaltamento)
  - G2 - Muratura: meccanismo fuori piano (pressoflessione)
  - G3 - Muratura: meccanismo fuori piano (disgregazione)
  - H - Muratura: interferenza con edifici contigui (martellamento)
  - D1 - Rotture a taglio tamponature
  - E1 - Espulsione tamponature
- Livello di danno (Da D0 a D5 secondo EMS-98)
  - D0 - Assenza di danno
  - D1 - Muratura: lesioni capillari in pochissime pareti, cadute di porzioni di intonaco, caduta sporadica di rivestimenti
  - D1 - C.a.: lesioni capillari nell'intonaco su travi, pilastri e pareti; lesioni capillari su tamponature e tramezzi
  - D2 - Muratura: lesioni in molte pareti, cadute di grosse parti di intonaco, collasso parziale dei comignoli
  - D2 - C.a.: lesioni in travi, pilastri e setti, lesioni nelle tamponature e nei tramezzi, cadute di grosse parti di intonaco
  - D3 - Muratura: lesioni ampie ed estese nella maggior parte delle pareti, caduta di tegole e comignoli, collasso di singoli elementi non strutturali
  - D3 - C.a.: Lesioni nei nodi di travi, pilastri e pareti, espulsione del copriferro, instabilizzazione delle barre, lesioni ampie nelle tamponature, ribaltamento di singoli pannelli di tamponatura
  - D4 - Muratura: collassi significativi di pareti, collasso strutturale parz. di coperture e solai
  - D4 - C.a.: ampie lesioni negli elementi strutturali con crisi per compressione e frattura di barre, collasso ancoraggio armature, dislocazione e fuori piombo delle colonne, collasso di alcune colonne o di un singoli solaio ai livelli superiori
  - D5 - Muratura: crollo
  - D5 - C.a.: crollo completo o di un singolo livello
- Interventi moderni (x=SI), localizzati e di recente realizzazione (intonaco armato, cordoli in c.a.)
- Posizione dell'unità strutturale nell'ambito dell'aggregato
  - A - Angolo
  - I – Interno
  - T – Testata
- S – Singolo (isolato)





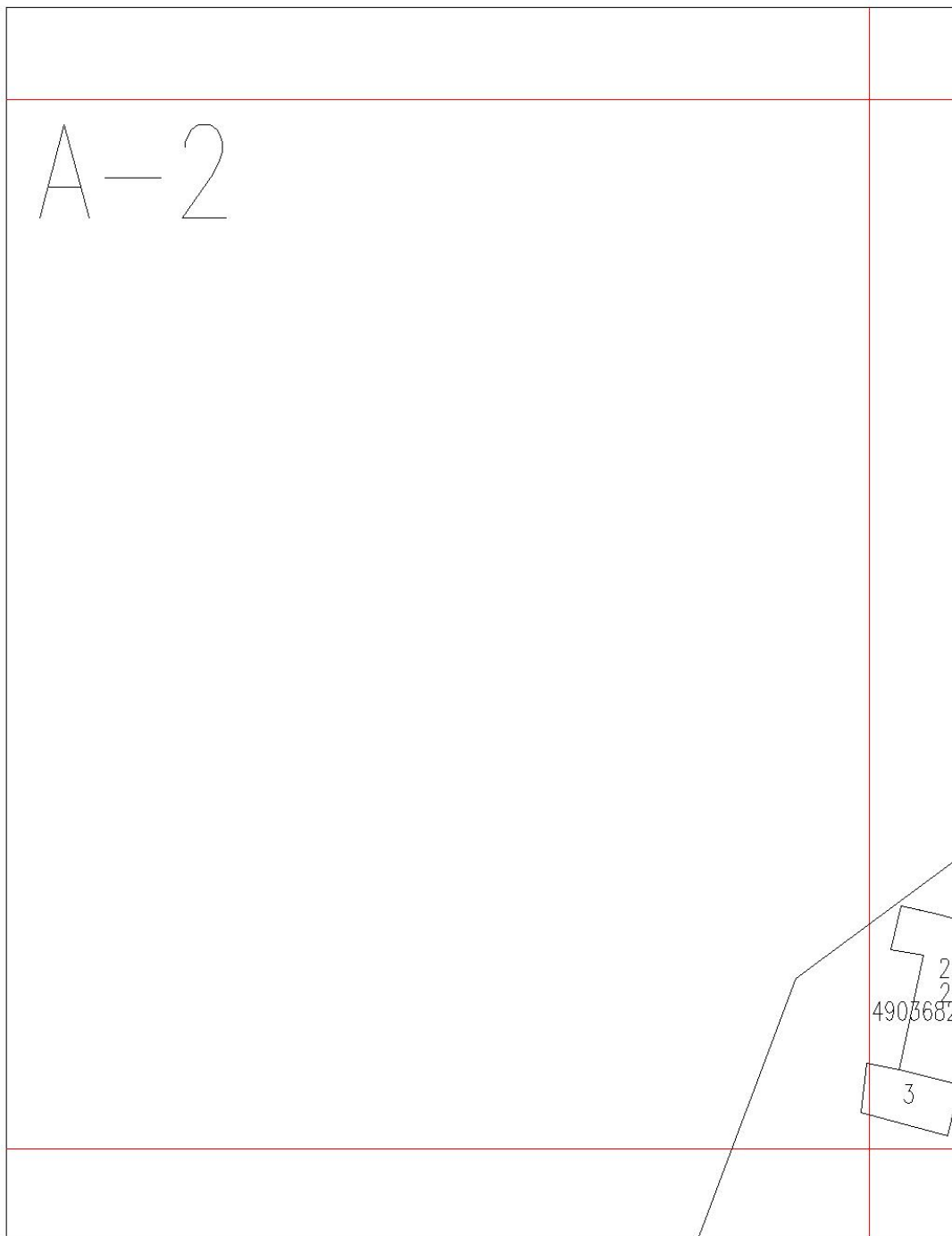




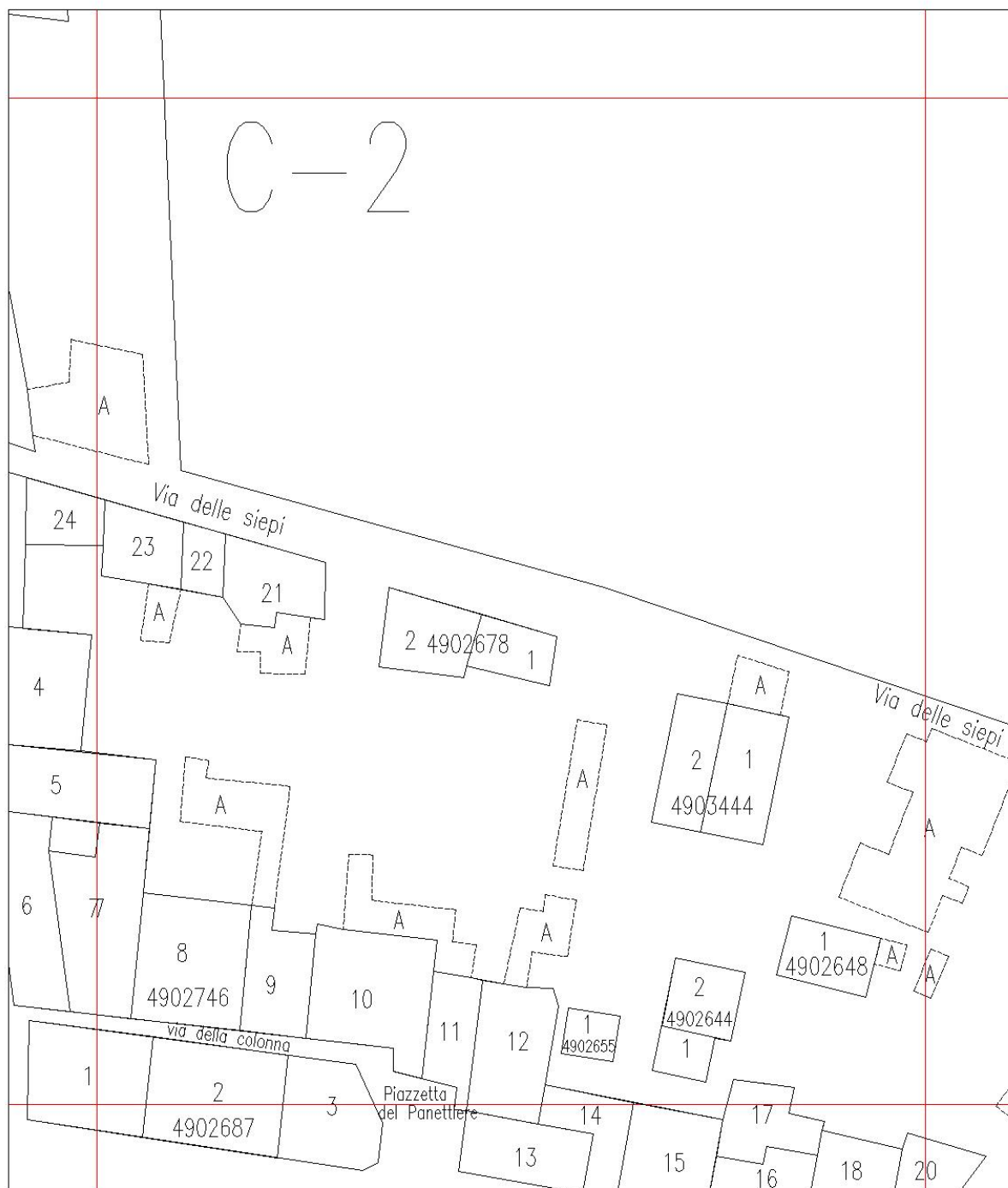




D-1



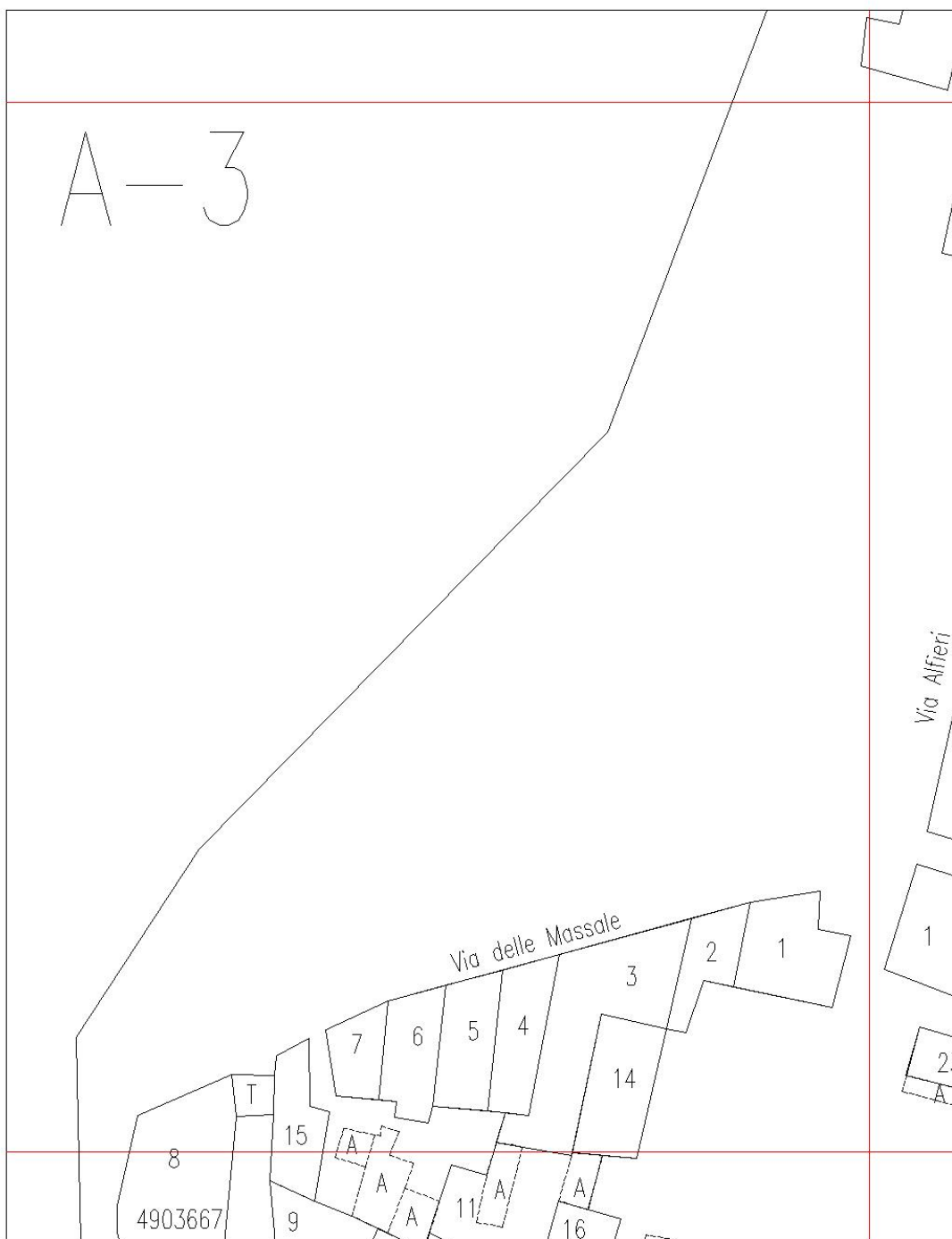






D-2

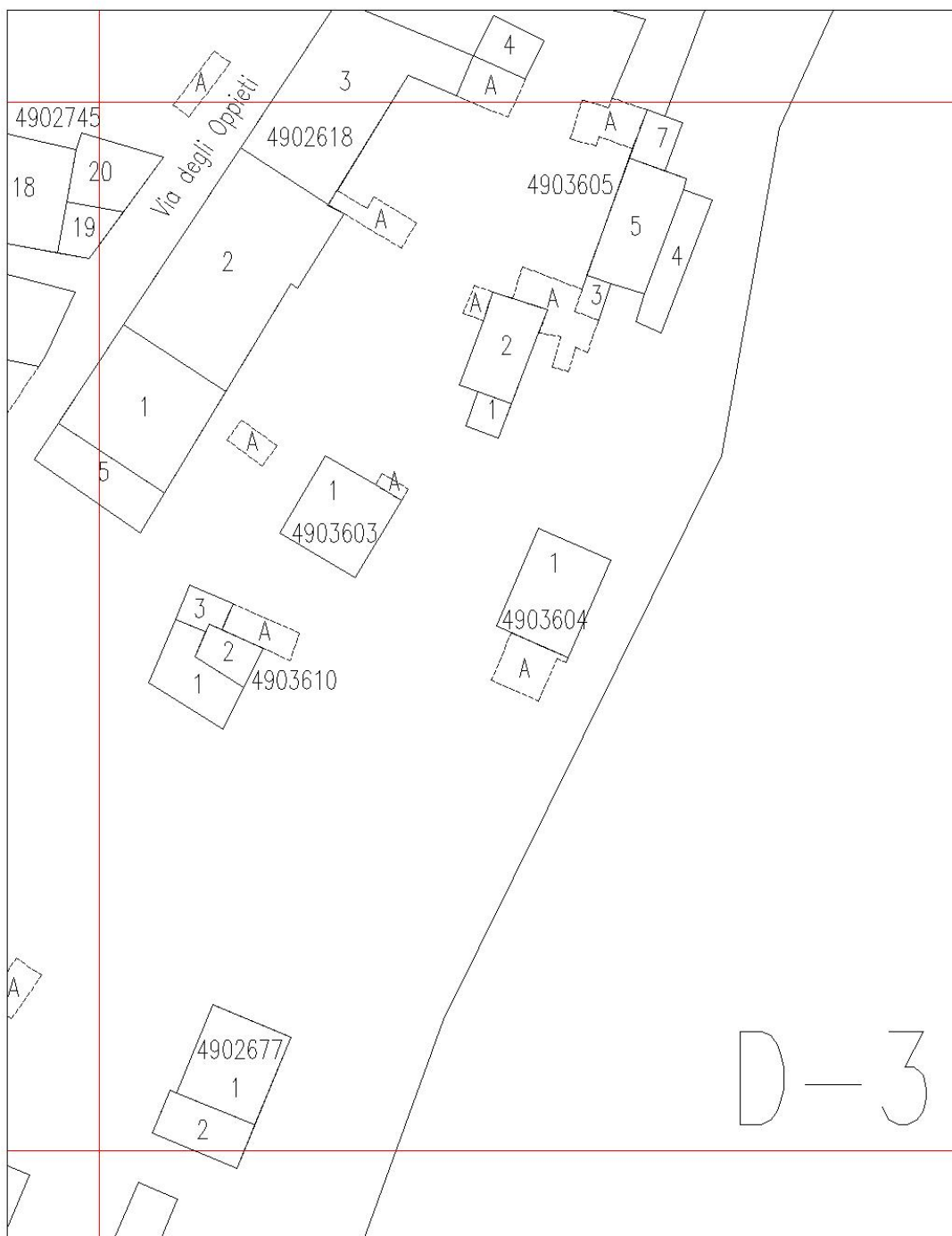




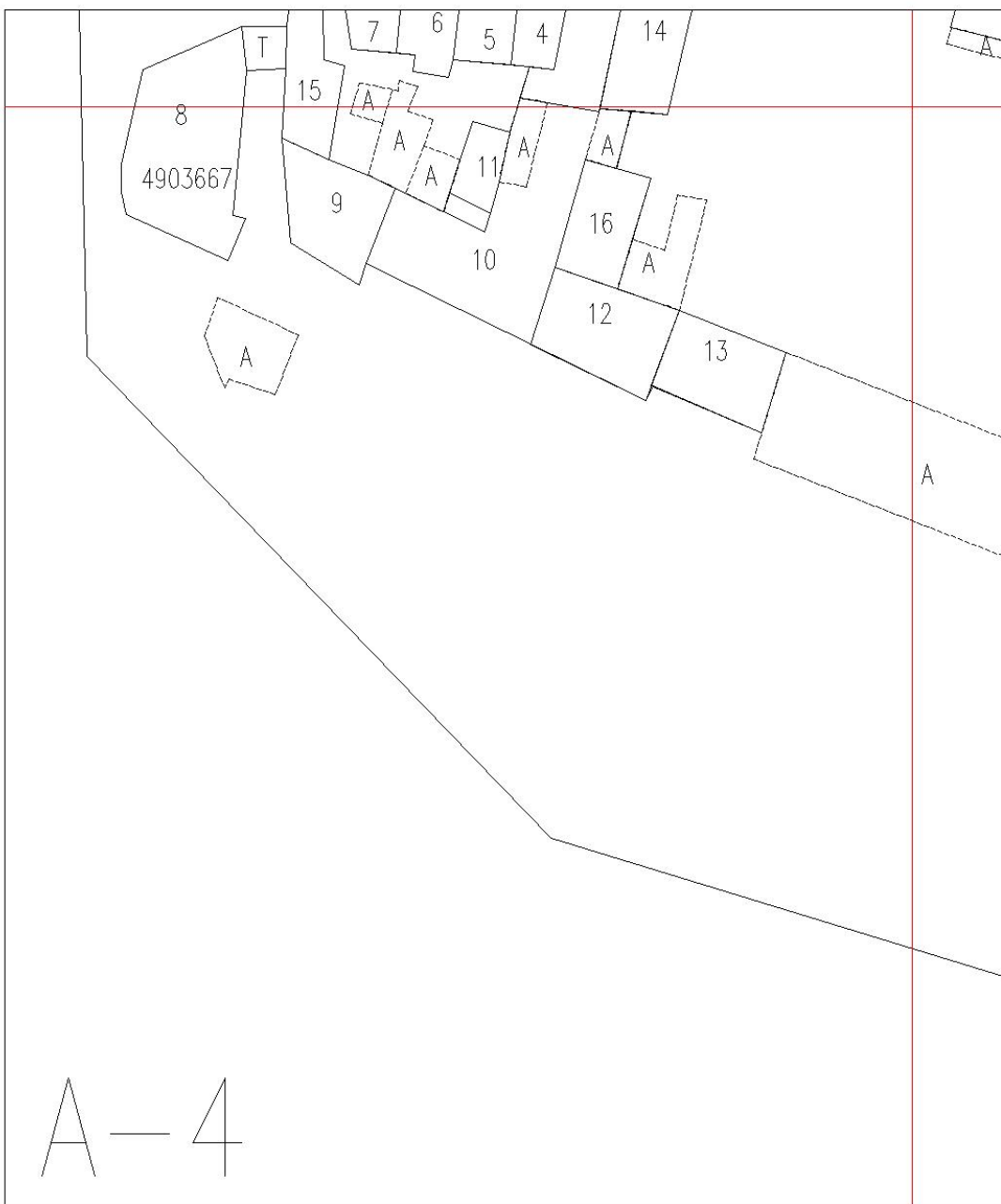


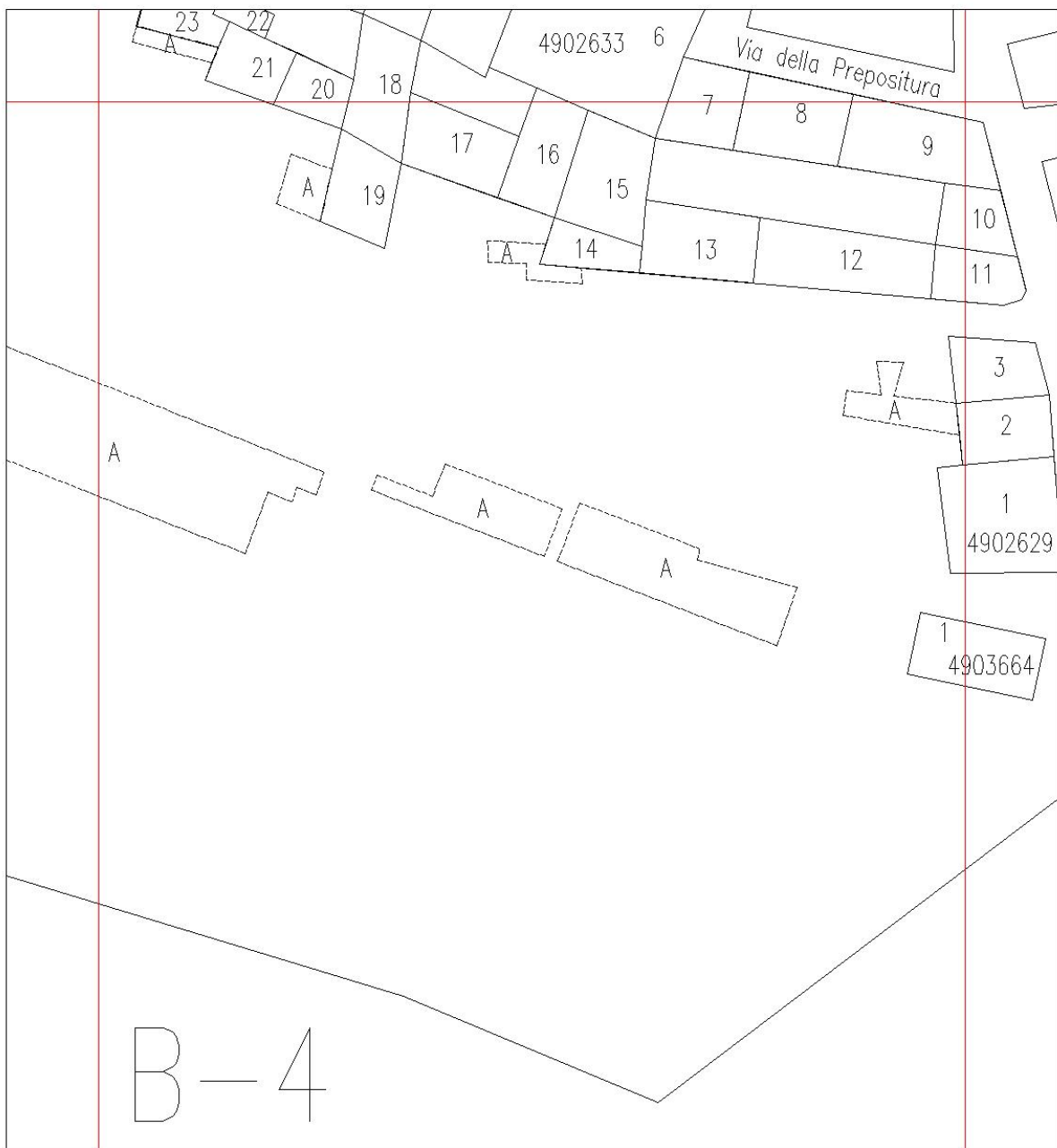


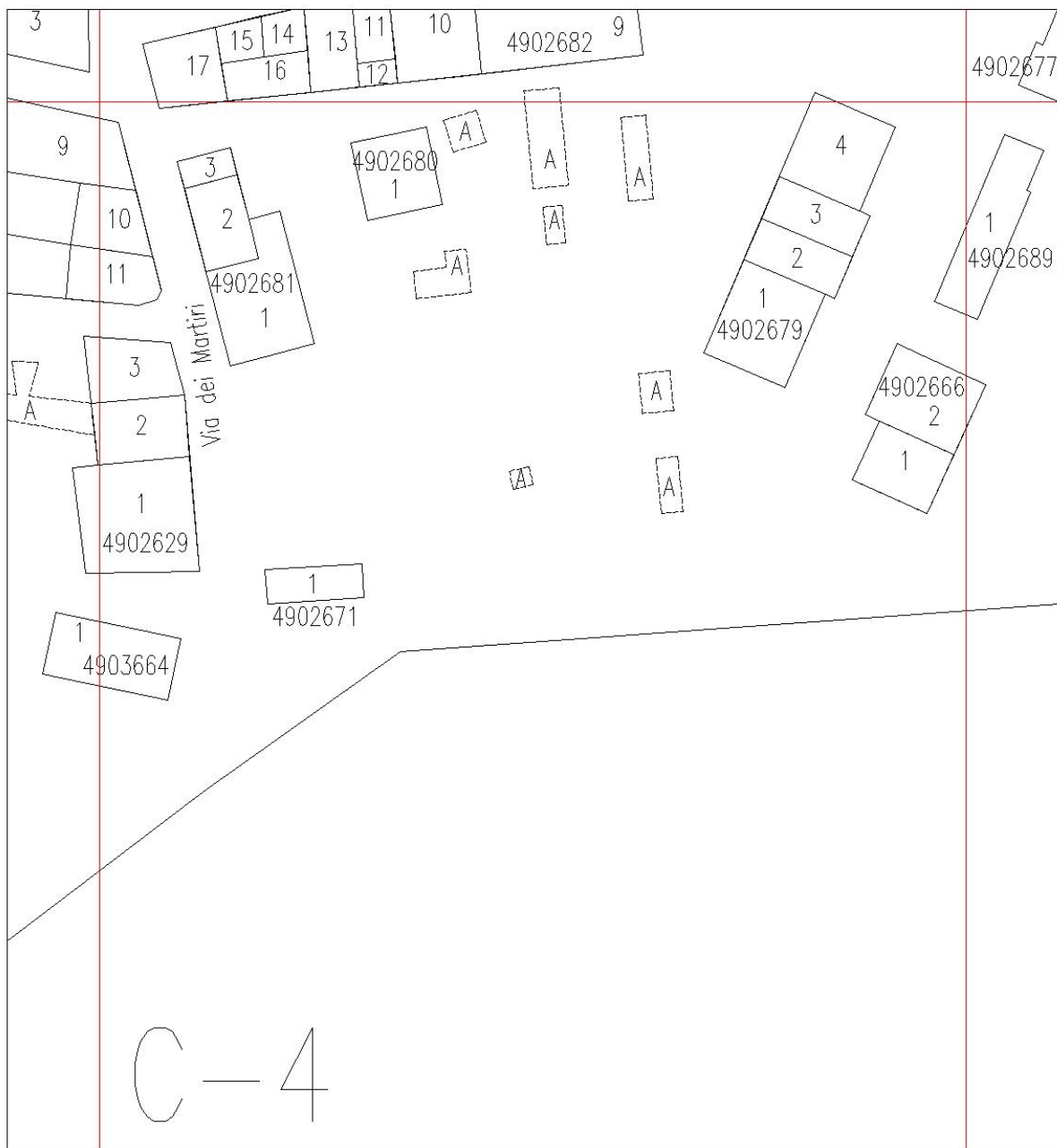




D-3













Numero aggregato	Numero Edificio	Superficie (mq)	Numero Piani	Volume (mc)	Tipologia Verticale 1° liv	Tipologia Verticale 2° liv	Tipologia Verticale 3° liv	Tipologia Verticale 4° liv	Tipologia Orizzontale 1° liv	Tipologia Orizzontale 2° liv	Tipologia Orizzontale 3° liv	Tipologia Orizzontale 4° liv	Tamponature Collaboranti	Piano Debole	Classe vulnerabilità	Tipologia danno	Livello di danno	Interventi moderni	Posizione
4902566	1	273	3	2457	D	D	D		3	3	1				B	G3	D5		S
4902618	1	165	2	990	A-D-E	A-D-E			1-3	1			S	0	C	-	D1	x	I
4902618	2	295	2	2655	A-D-E	A-D-E			1-3	1			S	0	C	F	D2		I
4902618	3	245	2	1470	D	D			2-3	2-3					A	G3	D5		T
4902618	4	30	1	90	NR				NR						NR	-	D1		S
4902618	5	65	1	195	D-E				2						NR	G3	D5		T
4902629	1	147	3	1323	E	E	E		1	1	1				C	F-G1	D5		T
4902629	2	66	3	594	E	E	E		1	1	1				C	F-G1	D5		I
4902629	3	61	2	366	D	E			3	2					A	G3	D5		T
4902633	1	220	3	1980	D	D	D		3	3	2				B	F-G2	D4		T
4902633	2	165	2	990	D	D			2	2					A	G3	D5		I
4902633	3	54	3	486	D	D	D		3	3	2				B	G3	D4		I
4902633	4	56	2	336	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902633	5	138	3	1242	D	D	D		3	3	2				A	G3	D5		I
4902633	6	295	3	2655	D	D	D		3	3	2				A	G3	D4		A
4902633	7	70	2	420	D	D			4	3	3				A	G3	D5		I
4902633	8	94	2	564	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902633	9	119	2	714	D	D			3	2					A	G3	D5		A
4902633	10	50	2	300	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902633	11	52	2	312	D	D			3	2					A	G3	D5		A
4902633	12	123	2	738	D	D			3	2					A	F-G1	D5		I
4902633	13	91	2	546	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902633	14	41	2	246	E	E			1	1					C	F-G1	D3		A
4902633	15	103	2	618	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902633	16	76	2	456	D	D			3	1					A	G3	D5		I
4902633	17	85	2	510	D	D			4	2					A	G3	D5		I
4902633	18	85	2	510	D	D			4	2					A	G3	D5		I
4902633	19	70	2	420	D	D			4	2					A	G3	D5		T
4902633	20	42	2	252	D	D			3	3	2				A	G3	D5		I
4902633	21	51	3	459	D	D	E		1	1	3				A	F-G1	D5		A
4902633	22	18	3	162	D	D	E		NR	NR	NR				B	F-G3	D4		A
4902633	23	46	1	138	E				1						C	-	D2		T
4902634	1	280	1	2100	D				2						B	G3-G1-H	D4		T
4902634	2	92	2	552	D	D			4	4-2					B	G1	D3		A
4902634	3	100	2	600	D	D			NR	NR					NR	-	D0		T
4902634	4	44	2	264	D	D			3	2					B	G3	D5		T
4902635	1	545	2	3270	D	D			3	2					B	F-G2	D4		T
4902635	2	94	2	564	E	E			1	1					C	F	D1	x	A
4902635	3	133	2	798	D	D			4	2					A	G3	D5		I
4902635	4	87	2	522	D	D			4	2					A	G3	D5		I
4902635	5	35	2	210	D	D			4	2					A	G3	D4		I
4902635	6	184	2	1104	D	D			3	2					A	G3	D5		T
4902635	7	176	2	1056	D	D			4	2					A	G3	D5		I
4902635	8	150	2	900	D	E			NR	NR					A	G3	D5		I
4902635	9	86	4	1032	D	D	E	E	1	1	1	1			A	G3	D4		I
4902635	10	103	2	618	D	D			3	2					A	G3	D3		I
4902635	11	123	2	738	A	A			1	1			N	0	D	E1	D3		I
4902635	12	110	2	660	D	D			1	2					A	G3	D5	x	A
4902635	13	134	2	804	D	D			4	2					A	G3	D4		I
4902635	14	214	2	1284	D	D			4	2					A	G3	D4		A
4902635	15	180	2	1080	C	C			1	1					F	-	D1	x	I
4902635	16	158	2	948	D	D			1	2					A	G3	D5		I
4902635	17	105	2	630	D	D			2	2					A	G2	D4		I
4902635	18	112	1	336	D				2						A	G2	D4		A
4902635	19	51	2	306	D	D			2	2					B	F-G2	D4		I
4902635	20	54	2	324	D	D			4	2					A	G3	D5		A
4902635	21	43	1	129	D				3						A	-	D1		I
4902635	22	86	2	516	D	D			3	2					A	F-G2	D3		A
4902635	23	42	3	378	NR	NR			NR	NR					A	G3	D5		T
4902635	24	53	2	318	D	D			3	2					B	F	D2		S
4902639	1	91	3	819	D	C-D	C-D		3	3	2				A	G3	D5		T
4902639	2	55	3	495	D	C	C		3	3	2				A	F	D4		I
4902639	3	55	3	495	NR	NR	NR		NR	NR	NR				NR	-	D0		I
4902639	4	33	3	297	NR	NR	NR		NR	NR	NR				NR	F	D1		I

Numero aggregato	Numero Edificio	Superficie (mq)	Numero Piani	Volume (mc)	Tipologia Verticale 1° liv	Tipologia Verticale 2° liv	Tipologia Verticale 3° liv	Tipologia Verticale 4° liv	Tipologia Orizzontale 1° liv	Tipologia Orizzontale 2° liv	Tipologia Orizzontale 3° liv	Tipologia Orizzontale 4° liv	Tampognature Collaboranti	Piano Debole	Classe vulnerabilità	Tipologia danno	Livello di danno	Interventi moderni	Posizione
4902639	5	44	3	396	NR	NR	NR		NR	NR	NR				NR	H	D1		I
4902639	6	27	2	162	NR	NR			NR	NR					NR	-	D0		I
4902639	7	21	3	189	D	D	D		3	3	2				A	G3	D5		I
4902639	8	80	3	720	D	D	D		4-3	3	1				A	G3	D5		A
4902639	9	63	3	567	D	D	D		4	4	2				A	F-G1-G2	D5		I
4902639	10	40	3	360	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D3		I
4902639	11	80	2	480	D	D			3	3					B	F	D2		A
4902639	12	63	2	378	D	D			4	3-2					B	F-G2	D4		A
4902640	1	70	1	210	E				1						C	-	D0	x	S
4902641	1	385	1	1540	C				1						C	-	D1		S
4902644	1	31	2	186	D	E			1	1					A	G3	D5		T
4902644	2	62	2	372	A	A			1	1			N	0	E	D1	D3		T
4902648	1	71	1	213	E				2						C	G1	D5		S
4902655	1	30	1	90	D				2						A	G3	D5		S
4902666	1	60	2	360	A	A			1	1			NR	0	D	-	D0		T
4902666	2	87	1	261	C				1						C	F	D1		T
4902671	1	37	1	148	E				1						C	-	D0		S
4902677	1	92	3	828	A	A	A		1	1	1		S	0	D	E1	D1		T
4902677	2	49	1	147	C				1						C	F	D1		T
4902678	1	56	2	336	A	A			1	1			S	0	E	-	D0		S
4902678	2	79	2	474	D	D			NR	NR					B	F	D3		S
4902679	1	102	3	918	A	A	A		1	1	1		NR	0	D	-	D0		T
4902679	2	51	1	153	C				1						C	-	D0		I
4902679	3	51	1	153	C				1						C	F	D1		I
4902679	4	91	3	819	A	A	A		1	1	1		NR	0	D	-	D0		T
4902680	1	70	2	420	E	E			1	2					C	-	D1		S
4902681	1	110	2	990	A	A			1	1			N	0	E	-	D0		T
4902681	2	55	2	330	D	D			1	1					C	-	D0		I
4902681	3	20	1	60	E				2						C	-	D0		T
4902682	1	28	1	84	D				2						A	G3	D5		T
4902682	2	70	2	420	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902682	3	108	2	648	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902682	4	54	1	162	D				2						A	G3	D5		I
4902682	5	42	2	252	D	D			2	2					A	G3	D5		I
4902682	6	35	3	315	D	D	D		NR	3	2				A	G1-H	D4		I
4902682	7	98	1	294	D				1						B	-	D0		T
4902682	8	130	3	1170	D	D	D		3	3-4	2				A	G3	D5		I
4902682	9	167	3	1503	D	D	D		NR	3	2				A	G3	D5		A
4902682	10	73	4	876	D	D	D	D	4	4	3	2			A	G3	D5		I
4902682	11	39	3	351	D	D	D		3	3	2				B	H	D4		I
4902682	12	21	2	126	D	D			NR	3					A	G1	D5		I
4902682	13	54	3	486	D	D	D		NR	NR	NR				B	G1-H	D3		I
4902682	14	23	2	138	D	D			NR	NR					B	F-H	D2		I
4902682	15	22	2	132	D	D			NR	NR					B	H	D2		I
4902682	16	40	2	240	D	D			NR	NR					B	H	D2		I
4902682	17	30	3	270	D	D	D		NR	3	3				A	G3	D5		T
4902683	1	37	2	222	D	D			3	2					A	G3	D5		A
4902683	2	14	2	84	D	D			3	2					A	G3	D5		T
4902683	3	23	3	207	D	D	D		3	2	1				A	G3	D5		I
4902683	4	22	2	132	D	D			3	2					A	G3	D5		I
4902683	5	91	3	819	D	D	D		4	3	1				B	G1-G3	D5	x	I
4902683	6	32	1	96	D				1						A	G3	D5		A
4902683	7	74	3	666	D	D	D		3	3	2				A	F-G2	D4		I
4902683	8	64	3	576	D	D	C-D		3	3	2				B	F	D4		I
4902683	9	49	3	441	A	A	A		1	1	1		N	0	C	E1	D4		I
4902683	10	45	2	270	D	D			3	2					A	F-G1	D4		I
4902683	11	48	3	432	D	D	D-E		4	3	2				A	G3	D5		T
4902684	1	30	1	90	NR				NR						NR	-	D0		S
4902685	1	108	2	648	D	D			3	NR					B	F	D1		A
4902685	2	42	1	126	A				1				N	0	E	-	D1		A
4902685	3	175	3	1575	A	A	A		1	1	1		N	0	E	E1	D1		A
4902685	4	44	2	264	D-E	E			3	1-2					B	G1-G3	D5		A
4902685	5	71	1	213	NR				NR						C	-	D0		S



Numero aggregato	Numero Edificio	Superficie (mq)	Numero Piani	Volume (mc)	Tipologia Verticale 1° liv	Tipologia Verticale 2° liv	Tipologia Verticale 3° liv	Tipologia Verticale 4° liv	Tipologia Orizzontale 1° liv	Tipologia Orizzontale 2° liv	Tipologia Orizzontale 3° liv	Tipologia Orizzontale 4° liv	Tamponeature Collaboranti	Piano Debole	Classe vulnerabilità	Tipologia danno	Livello di danno	Interventi moderni	Posizione
4902685	6	74	1	222	E				2						B	F	D4		A
4902685	7	11	1	33	E				NR						NR	F	D1		I
4902685	8	117	2	702	D	D			3	3					B	F	D3		A
4902685	9	47	2	282	D	D			4	3-2					A	G3	D5		T
4902685	10	33	2	198	A	A			1	1			N	0	E	-	D0		I
4902686	1	250	2	950	D	D			1	2					A	F	D3		T
4902686	2	259	2	1200	D	D			3	2					B	G3	D4	x	T
4902686	3	30	1	90	E				1						C	-	D0		T
4902687	1	151	3	1359	D	D	D		4	3	2				B	F-G2-H	D4	x	T
4902687	2	174	3	1566	D	D	D		3	3	2				A	G3-H	D5		I
4902687	3	120	3	1080	D	D	E		3	1	1				A	G3-H	D5	x	T
4902689	1	160	3	1440	A	A	A		1	1	1		N	0	E	A	D3		S
4902745	1	90	3	810	D	D	D		4	3	1				A	G3	D5	x	T
4902745	2	45	3	405	D	D	D		4	3	2				A	G3	D5		I
4902745	3	30	2	180	D	D			2	3					A	G3	D5		I
4902745	4	65	3	585	D	D	D		4	3	2				A	G3	D5		I
4902745	5	30	1	90	E				2						C	-	D0		T
4902745	6	64	3	576	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D5		I
4902745	7	51	2	306	D	D			NR	2					A	G3	D5		A
4902745	8	52	1	156	D				NR						A	G3	D5		A
4902745	9	67	3	603	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D5		A
4902745	10	41	3	369	D	D	D		NR	3	2				A	G3	D5		I
4902745	11	20	2	120	D	DE			3	2					A	E-G3	D4		A
4902745	12	85	2	510	D	D			NR	1-3					A	F	D4		I
4902745	13	75	2	450	D	D			3	2					A	G3	D5		T
4902745	14	80	2	480	D	D			NR	3					B	E-H	D4		I
4902745	15	52	4	624	D	D	D	DE	NR	3	3	1			B	F-G1	D4		T
4902745	16	96	2	576	NR	NR			NR	NR					NR	NR	NR		T
4902746	1	77	2	462	D	D			4	2					A	G3	D5		A
4902746	2	37	2	222	D	D			4	2					A	G3	D4		I
4902746	3	34	2	204	D	D			NR	2					A	G3	D5		I
4902746	4	171	3	1539	D	D	D		4	3-1	2				B	G3	D5		I
4902746	5	146	3	1314	D	D	D		3	3	2				B	G3	D4		I
4902746	6	138	2	828	D	D			4	2					A	G3	D4		A
4902746	7	178	3	1602	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D5		I
4902746	8	173	3	1557	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D5		I
4902746	9	93	2	558	D	D			NR	2					A	G3	D5		I
4902746	10	180	3	1620	D	D	D		NR	NR	2				A	G3	D5		I
4902746	11	71	3	639	A	A	A		1	1	1		N	0	D	D-E1	D4		I
4902746	12	126	3	1134	A	A	A		1	1	1		N	0	D	D-E1	D4		A
4902746	13	97	4	1164	D	D	D	E	NR	NR	NR	NR			B	F	D3	x	A
4902746	14	71	4	852	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR			B	F-H	D3		I
4902746	15	112	2	672	D	D			NR	2					A	G3	D5		I
4902746	16	88	2	528	D	D			3	2					A	G3	D5	x	I
4902746	17	75	2	450	D	D			NR	2					A	G2-F	D5		I
4902746	18	88	2	528	F	F			1	1					A	F-G1	D4		I
4902746	19	27	2	162	D	D			3	1					A	F	D4		A
4902746	20	56	2	336	D	D			NR	2					A	G1-G2	D4		A
4902746	21	90	3	810	A	A	A		1	1	1		N	0	E	D1-E1	D3		T
4902746	22	35	4	420	D	D	D	D	NR	NR	NR	2			A	G3-H	D5		I
4902746	23	72	2	432	D	D			NR	2					A	F	D4		I
4902746	24	56	4	672	D	D	D	D	NR	3	3	2			A	G3-H	D5		I
4902748	1	57	2	342	D	D			2	2					B	G3	D5		A
4902748	2	38	3	342	D	D	D		3	3	3				B	F	D4		I
4902748	3	68	3	612	D	D	D		4	3	2				A	G3	D5		A
4902748	4	83	3	747	D	D	D		3	3	3				A	G1-G3	D5		A
4902748	5	38	3	342	D	D	D		NR	NR	3				A	F-G2	D4		A
4902748	6	40	3	360	D	D	D		NR	NR	NR				A	F-G2	D4		I
4902748	7	27	2	162	D	D			NR	NR					B	F	D2		I
4902748	8	38	1	114	D				2						A	G3-H	D5		A
4902748	9	36	3	324	D	D	D		3	3	2				A	G3-H	D5		I
4902753	1	101	2	606	D	D			4	4-3					B	F-G2	D4		S
4902759	1	6	2	36	D	E			3	3					B	G2	D4		T

Numero aggregato	Numero Edificio	Superficie (mq)	Numero Piani	Volume (mc)	Tipologia Verticale 1° liv	Tipologia Verticale 2° liv	Tipologia Verticale 3° liv	Tipologia Verticale 4° liv	Tipologia Orizzontale 1° liv	Tipologia Orizzontale 2° liv	Tipologia Orizzontale 3° liv	Tipologia Orizzontale 4° liv	Tampognature Collaboranti	Piano Debole	Classe vulnerabilità	Tipologia danno	Livello di danno	Interventi moderni	Posizione
4902759	2	53	2	318	D	D			3	2					A	G3	D5		T
4902759	3	58	3	522	D	D			4	3-2					A	G1-G3	D5		I
4902759	4	54	3	486	D	D	D		4	3	2				A	G1-G3	D5		I
4902759	5	60	3	540	D	D	D		3	3	2				A	G1-G3	D5		I
4902759	6	84	3	756	D	D	D		2	NR	NR				B	F	D3		A
4902759	7	30	2	180	D	D			4	3-2					B	H	D4		I
4902759	8	43	3	387	D	D	D		3	3	2				B	F	D3		A
4903444	1	104	3	936	D	E	E		3	3	1				C	H-G1	D5	x	T
4903444	2	83	3	747	D	E	E		3	1	1				C	H	D5	x	T
4903520	1	41	1	123	E				1						C	-	D0		S
4903520	2	61	2	366	D	D			4	3-2					B	G3	D5		T
4903520	3	58	2	348	D	D			4	2					B	G1-G3	D5		I
4903520	4	51	2	306	D	D			3	3-1					B	F-G2	D2	x	I
4903520	5	71	2	426	D	D			4-3	3-1					B	F	D3	x	I
4903520	6	51	3	459	D	D	D		4	4	2				A	G3	D5		A
4903520	7	111	2	666	NR	NR			NR	NR					NR	NR	D0		A
4903565	1	182	2	1092	D	D			3	2					B	F-G1-G2	D4		S
4903575	1	262	1	786	A				1				N	0	E	-	D0		S
4903603	1	91	1	273	E				1						C	-	D0		S
4903604	1	97	1	291	E				2						C	-	D0		S
4903605	1	15	1	45	E				3						C	-	D0		T
4903605	2	65	1	195	E				2						C	-	D0		T
4903605	3	11	1	33	E				2						C	-	D5		T
4903605	4	48	1	144	E				2						B	G1	D5		T
4903605	5	88	2	528	D	D			3	2					B	G3	D5		I
4903605	6	22	2	132	D	D			3	2					B	G3	D5		A
4903605	7	54	1	162	E				3						C	H	D3		A
4903605	8	36	2	216	D	D			4	2					A	F-G3	D5		A
4903605	9	36	2	216	D	D			4	3-2					A	F-G1	D5		I
4903605	10	78	2	468	D	D			4	3-2					B	F-G1	D5		I
4903605	11	58	2	348	D	D			3	3					B	F-G1-G2	D5		T
4903606	1		3		E	E	E		1	1	1				C	-	D1		S
4903607	1	105	2	630	D	E			NR	2					A	F-G3	D5		T
4903607	2	57	1	171	D				2						A	G3	D5		T
4903609	1	40	1	120	D				2						B	G3-H	D5		S
4903610	1	57	1	171	D				2						A	G3	D5		T
4903610	2	27	2	162	D	D			2	2					B	G3	D5		A
4903610	3	18	1	54	D				1						A	G3	D5		A
4903664	1	93	2	558	E	E			1	3					C	-	D0		S
4903667	1	100	2	600	A	A			1	1			N	0	E	-	D0		T
4903667	2	25	1	112.5	D				1						B	F	D4		I
4903667	3	200	3	1800	D	D	D		3-4	3	2				A	F-G2	D5	x	I
4903667	4	85	3	765	D	D	D		3-4	3	2				A	F-G2	D4		I
4903667	5	85	3	765	D	D	D		3-4	3	2				A	F	D5	x	I
4903667	6	75	3	675	D	D	D		3	3	2				A	F-G2	D4	x	I
4903667	7	50	2	300	D	D			4	4-3					A	G3	D5		T
4903667	8	210	1	630	E				2						C	G1	D4		S
4903667	9	100	2	600	D-E	D-E			1-3	1-3					F	-	D1	x	A
4903667	10	150	2	900	D-E	D-E			1-3	1-3					F	-	D1	x	I
4903667	11	35	2	210	D	D			3	2					A	G1	D4		S
4903667	12	110	1	385	E				1						C	-	D0		I
4903667	13	100	1	350	E				1						C	-	D0		T
4903667	14	105	2	630	D	E			3	3					C	H	D2		A
4903667	15	70	1	210	E				1						C	-	D0		T
4903667	16	80	2	480	E	E			3	3					C	-	D1		T
4903682	1	127	3	1143	D-E	D-E	E		4	1	1				B	G1-G3	D5		A
4903682	2	178	3	1602	E	E	E		1	1	1				C	F-G1-G2	D5		A
4903682	3	55	3	495	D	D	D		4	3	3				B	G1-G3	D5		T
4903682	4	23	2	138	D	D			NR	NR					A	-	D5		I
4903682	5	64	2	384	D	D			NR	NR					A	-	D5		I
4903682	6	65	1	195	D				2						A	G1-H	D5		T

---

# Bibliografia

- Blake A., 1941. On the estimation of focal depth from macroseismic data. *Bull. Soc. Seism. Am.*, 31, 225-231.
- Braga, F., M. Dolce e D. Liberatore. (1982) Southern Italy November 23, 1980 Earthquake: A Statistical Study on Damaged Buildings and an Ensuing Review of the M.S.K.-76 Scale, Report CNR-PFG n.503, Rome.
- Classificazione sismica dei comuni italiani, 2006. <http://www.protezionecivile.it/>
- EMS-98, G. Grunthal (ed.) *European Macroseismic Scale 1998*, European Seismological Commission.
- Galadini F. e Galli P., 2000. Active tectonics in the central Apennines (Italy) – Input data for seismic hazard assessment, *Natural Hazards*, 22, 202-223.
- Galli P. e Camassi R. (a cura di), 2009. Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009. RPT03 – 25.05.2009. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI08/>
- Galli P., Galadini F., Pantosti D., 2008. Twenty years of paleoseismology in Italy, *Tectonophysics*, 88, 89-117, doi:10.1016/j.earscirev.2008.01.001.
- Galli P., Naso G., 2009. Unmasking the 1349 earthquake source (southern Italy). *Paleoseismological and archaeoseismological indications from the Aquae Iuliae fault*, *J. Structural Geology*, 31, 128-149.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 2009. Catalogo parametrico dei terremoti italiani, versione parziale “CPTI08aq”. INGV, Milano, aprile 2009. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI08/>
- Gruppo di Lavoro DBMI, 2009. Database macrosismico italiano, versione parziale “DBMI08aq”. INGV, Milano, aprile 2009. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI08/>
- INGV, 2009. La sequenza sismica dell’Aquilano – Aprile 2009. <http://portale.ingv.it/>
- Marcelli L. e Spadea M:C., 1981. La profondità ipocentrale con metodi macrosismici. *Ann. Geof.*, 34, 5-36.
- MCS, 1930. Scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg. Da Sieberg A., *Geologie der Erdbeben*, *Handbuch der Geophysic*, Tabb. 2 e 3. Berlin.
- Molin D., 2006. Caratteri principali della sismicità di Norcia. In “Microzonazione sismica di Norcia – I° stralcio”, relazione del Gruppo di Lavoro, Regione Umbria – Servizio Geologico.
- Patacca, E., Scandone, P., 1989. Post-Tortonian mountain building in the Apennines: the role of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In: Boriani, A., Bonafede, M., Piccardo, G.B., Vai, G.B. (Eds.), *The Lithosphere in Italy: Advance in Earth Science Research*, Accademia Nazionale dei Lincei, Rome, 157-176.
- RAN Rete Accelerometrica Nazionale, Dipartimento della protezione civile, Rapporto sull’evento del 2009-04-06 01:32 Magnitudo 5.8





---

# Gruppo di lavoro

## Microzonazione sismica

Gianpaolo Cavinato  
Consiglio nazionale delle ricerche  
gianpaolo.cavinato@igag.cnr.it

Paolo Ciaccasassi  
Regione Umbria  
sisma.abruzzo@regione.umbria.it

Sandro Costantini  
Regione Umbria  
sisma.abruzzo@regione.umbria.it

Mauro Dolce  
Dipartimento della Protezione Civile  
mauro.dolce@protezionecivile.it

Pietro Giovannetti  
Regione Umbria  
sisma.abruzzo@regione.umbria.it

Domenico Mattioli  
Regione Umbria  
sisma.abruzzo@regione.umbria.it

Giuseppe Naso  
Dipartimento della Protezione Civile  
giuseppe.naso@protezionecivile.it

## Sismicità

Sergio Castenetto  
Dipartimento della Protezione Civile  
sergio.castenetto@protezionecivile.it

Paolo Galli  
Dipartimento della Protezione Civile  
paolo.galli@protezionecivile.it

Diego Molin  
Dipartimento della Protezione Civile  
diego.molin@protezionecivile.it

## Analisi storico-urbanistica

Fabrizio Bramerini  
Dipartimento della Protezione Civile  
fabrizio.bramerini@protezionecivile.it

Cosmo Mercuri  
Dipartimento della Protezione Civile  
cosmo.mercuri@protezionecivile.it

## Rilievo e analisi del danno

Elisabetta Aisa  
Provincia di Perugia  
elisabetta.aisa@provincia.perugia.it

Federico Bernardini  
Provincia di Perugia  
federico.bernardini@provincia.perugia.it

Marco Cittadini  
Provincia di Perugia  
marco.cittadini@provincia.perugia.it

Luigi Daniele  
Provincia di Perugia  
luigi.daniele@provincia.perugia.it

Alessandro De Maria  
Provincia di Perugia  
alessandro.demaria@provincia.perugia.it

Adriano De Sortis  
Dipartimento della protezione civile  
adriano.desortis@protezionecivile.it

Gianluca Fagotti  
Provincia di Perugia  
gianluca.fagotti@provincia.perugia.it

Utilio Nasini  
Provincia di Perugia  
controllo.costruzioni@provincia.perugia.it

Marco Tanci  
Provincia di Perugia  
marco.tanci@provincia.perugia.it

Maurizio Santantoni  
Provincia di Perugia  
Maurizio.santantoni@provincia.perugia.it

Francesco Savi  
Provincia di Perugia  
francesco.savi@provincia.perugia.it

Claudio Serafini  
Provincia di Perugia  
claudio.serafini@provincia.perugia.it

#### **Documentazione**

Gianfranco Busilacchio  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Volfango Millimaggi  
Ingegnere libero professionista - L'Aquila  
volfango.millimaggi@fastwebnet.it

Marco Carpini  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Paolo Paolucci  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Francesco Colaianni  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Franco Papola  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Onelio De Felice  
Ingegnere libero professionista  
odefelice@todini.it

Giustino Parisse  
Giornalista - "Il Centro"  
ONNA Onlus

Alessandra Donatello  
Protezione civile Provincia di Trento

Antonello Ricotti  
Dress & Sommer  
antonello.ricotti@dreso.com

Fabiana Ludovici  
ONNA Onlus  
info@proloco-onna.it

Andreas Seebacher  
Ambasciata Repubblica Federale Germania  
consultant.laquila@thw.de

Aldo Scimia  
(foto storiche di Onna)

#### **Cartografia**

Barbara Montanucci  
Provincia di Perugia  
barbara.montanucci@provincia.perugia.it

Massimo Spadoni  
Consiglio nazionale delle ricerche  
massimo.spadoni@igag.cnr.it

Francesco Pennica  
Consiglio nazionale delle ricerche  
francesco.pennica@igag.cnr.it

Francesco Stigliano  
Consiglio nazionale delle ricerche  
francesco.stigliano@igag.cnr.it

Lorenzo Sensi  
Provincia di Perugia  
lorenzo.sensi@gmail.com

Team Informatica  
Deruta  
info@teaminformatica.it

Roberto Vallone  
Consiglio nazionale delle ricerche  
roberto.vallone@igag.cnr.it

#### **Prove di laboratorio**

Giampaolo Marruzzo  
Consiglio nazionale delle ricerche  
giampaolo.marruzzo@igag.cnr.it

Elena Spaziani  
Consiglio nazionale delle ricerche  
elena.spaziani@igag.cnr.it

Luciano Passeri  
Consiglio nazionale delle ricerche  
luciano.passeri@igag.cnr.it