

Risposta sismica e meccanismi resistenti alla scala urbana

Eventi sismici e morfologia dei borghi collinari.

Intervento alla giornata di lavoro di Macerata, 3 marzo 2017

Il 26 aprile 1917 i sismografi dei principali Osservatori Geodinamici dell'Italia Centrale registrarono un terremoto di eccezionale intensità nell'Alta Valle del Tevere, fenomeno da inquadrare in una sequenza sismica che aveva avuto origine con il disastroso terremoto di Avezzano nel 1915 e che si era conclusa con quello del 1919 nel Mugello.

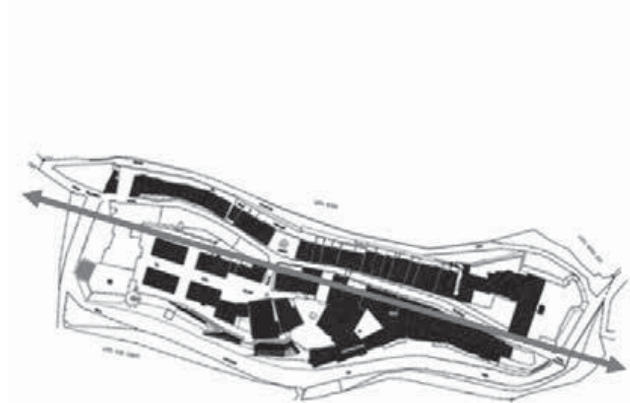
L'epicentro del sisma, classificato al X grado della scala Mercalli, fu individuato nella valle del Cerfone, fra gli abitati di Citerna e Monterchi, i centri che subirono i maggiori danni.

Questo evento, pur nella sua drammaticità, costituisce un interessante caso di studio per le indicazioni che offre sulla comprensione del fenomeno e degli effetti prodotti dal sisma sull'edilizia storica, attraverso il confronto dei danni riportati dalle costruzioni dei due piccoli borghi collinari, che si distinguono per la diversa conformazione orografica.

Monterchi, infatti, sorge su un piccolo colle, con le case organizzate secondo uno sviluppo circolare che segue l'andamento naturale del-



Monterchi (AR)



Citerna (PG)

1. Terremoto di Citerna-Monterchi (26 aprile 1917): borghi collinari a sviluppo circolare e lineare.

le curve di livello. Il borgo di Citerna, invece, presenta uno sviluppo lineare, essendosi formato sul crinale della collina che si eleva sul lato opposto della valle.

Si prende spunto proprio da questa caratteristica morfologica per cogliere segni di un funzionamento meccanico che si esplica alla scala urbana, quando qualsiasi analisi sismica viene condotta comunemente alla scala edilizia o limitata a modeste porzioni di fabbricati. Dimensioni, queste, che impediscono una lettura critica a larga scala, dalla quale tuttavia non si dovrebbe prescindere se si vuole apprezzare la visione d'insieme del problema prima di scendere nei dettagli.

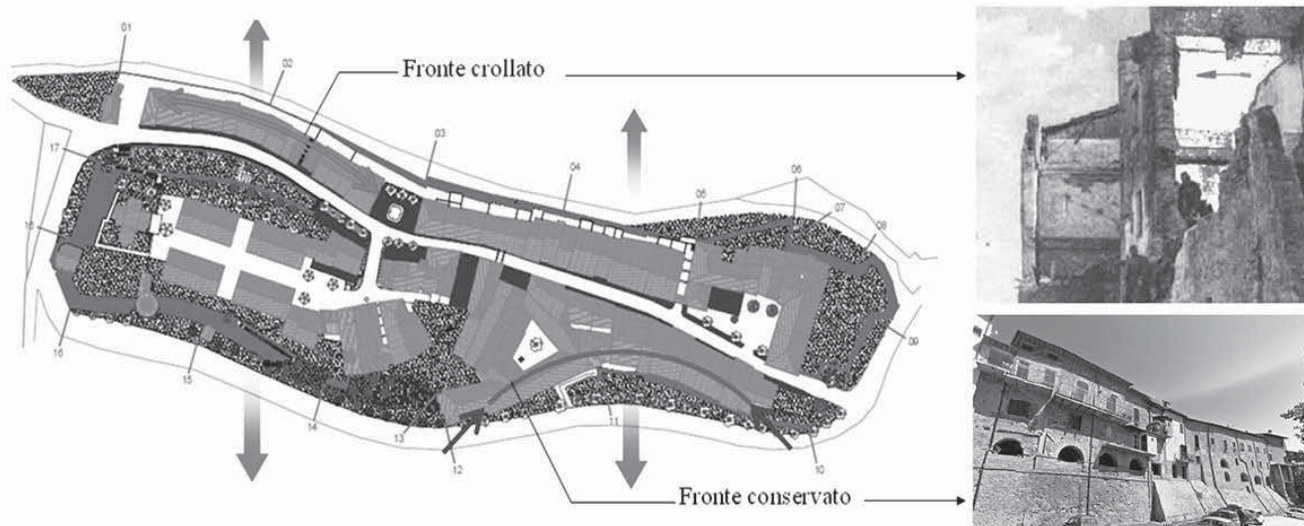
La chiave di lettura va ricercata nella meccanica degli archi e delle volte, la stessa che serve a spie-

gare come singole pareti rispondono alle azioni sismiche ortogonali o complanari, e come gli effetti si combinano per generare dei meccanismi resistenti semplici o complessi.

Si tenterà di dimostrare che lo stesso approccio trova evidenti riscontri alla dimensione degli aggregati edilizi e di sistemi ancora più articolati.

L'analisi del danno sismico manifestatosi nei due piccoli borghi collinari costituisce solo un esempio fra i tanti che potrebbero portare alle stesse conclusioni, particolarmente significativo se si considera la diversa conformazione planoaltimetrica dei siti su cui sorgono i centri abitati.

A Monterchi si verificarono crolli e danni diffusi su tutte le abitazioni ubicate lungo il perimetro del centro storico, mentre a Citerna si registrarono



2. Citerna, abitato di crinale, sollecitato da azioni sismiche trasversali, responsabili del collasso del fronte settentrionale (convesso), mentre si riscontra la tenuta del fronte meridionale (concavo).

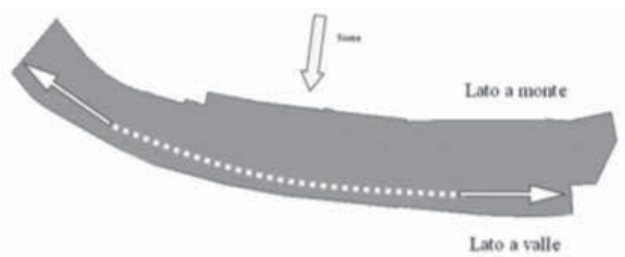
effetti diversi sugli aggregati perimetrali del centro abitato, più accentuati sul fronte settentrionale e meno evidenti sul lato meridionale, che si è conservato in gran parte.

Il fenomeno trova una spiegazione logica nella diversa forma degli aggregati edilizi. L'impianto planimetrico dell'abitato di Citerna permette di cogliere immediatamente il motivo per cui il fronte settentrionale è collassato sotto l'azione del sisma agente in senso trasversale, mentre quello meridionale si è sostanzialmente conservato, pur avendo caratteristiche simili. Evidentemente la convessità e la concavità dei fronti di valle hanno avuto un ruolo determinante sulla risposta d'insieme, con quello che si può definire tecnicamente "effetto diga". L'azione sismica, infatti, determina in ogni aggregato edilizio l'innescò di un meccanismo resistente spontaneo che in un caso si esplica attraverso

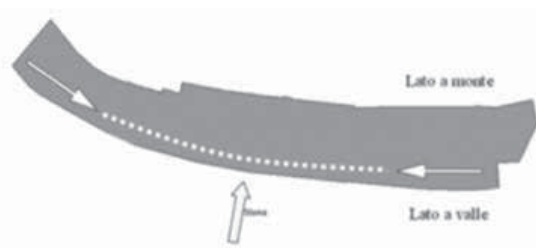
la formazione di un arco di scarico compresso e da un effetto stabilizzante, mentre nell'altro produce l'effetto contrario, con la formazione di un arco teso che non ha alcuna possibilità di funzionare in modo efficace, per cui tende a distaccare le cellule murarie, determinando un generale allentamento delle murature e il rischio di collasso.

Si può comprendere meglio l'effetto osservando l'impianto curvo di un aggregato edilizio nel quale l'azione sismica dinamica determina l'alternanza di stati tensionali di trazione e di compressione responsabili di effetti devastanti se la concavità è rivolta verso monte, come accade nella maggior parte dei centri storici collinari con gli edifici distribuiti secondo l'andamento delle curve di livello.

Pertanto la risposta sismica d'insieme è chiaramente condizionata dalla forma dell'aggregato oltre che dalla configurazione del suolo e della



3. Aggregato edilizio sollecitato da azioni ortogonali verso valle con innescio di sforzi di trazione.



4. Aggregato edilizio sollecitato da azioni ortogonali verso monte con innescio di sforzi di compressione.

natura stratigrafica dei terreni. Considerazione che non aggiunge nulla di nuovo rispetto ad un problema che la normativa affronta esattamente in questi termini.

L'aspetto nuovo, semmai, riguarda l'approccio analitico esteso ad una scala che generalmente non viene considerata, dato che nella maggior parte dei casi gli interventi si concentrano su singole unità strutturali, se non addirittura su porzioni limitate delle stesse, per le quali non si ritiene indispensabile indagare oltre l'ambito ristretto delle singole proprietà.

Avere una visione più ampia aiuta invece a comprendere il funzionamento meccanico d'insieme, nonché a contestualizzare l'analisi locale, così da individuare eventuali criticità ed assumere provvedimenti adeguati, sebbene a livello qualitativo.

L'obiettivo, infatti, non è quello di effettuare una verifica sismica globale, che non avrebbe alcun senso, ma piuttosto individuare le modalità di interazione fra ogni cellula con quelle contigue in una visione estesa, dalla quale non si dovrebbe mai prescindere.

La chiave di lettura per svolgere questo tipo di analisi sta pertanto nel ricondurre il tessuto edilizio di un abitato alla dimensione equivalente di un'unità strutturale, con tutte le valutazioni che ne conseguono.

Si potranno cogliere in questo modo segni della sua formazione e delle trasformazioni che ne

hanno caratterizzato l'evoluzione, anche in chiave antisismica.

Aggregati lineari o dall'impianto curvo, adagiati sulle curve di livello dei rilievi naturali o disposti su profili ad essi ortogonali, appariranno con un aspetto simile a quello di muri di cinta o di contenimento, posti a contrasto di terrapieni e a sostegno di terrazzamenti.

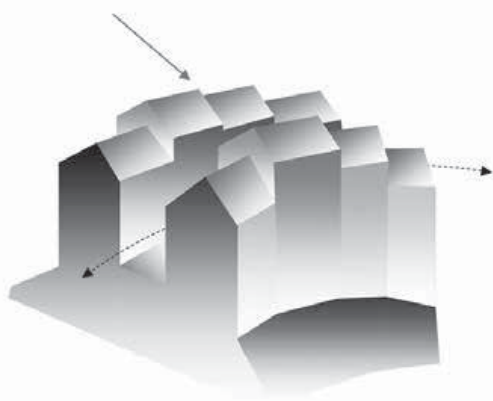
L'organizzazione degli aggregati e delle vie cittadine apparirà così molto simile ad un apparecchio murario impostato secondo una precisa regola compositiva. Segno concreto di una concezione costruttiva tradizionale affidata a processi spontanei, ma razionali, che si traducono anche in un criterio di prevenzione sismica.

Per approfondire il tema è utile portare l'esempio di altre realtà urbane oltre quelle, modeste, da cui si è preso spunto per affrontare l'argomento.

Il caso di Siena, ad esempio, appare fra i più interessanti, per la varietà di situazioni che presenta in una dimensione superiore a quella ordinaria dei piccoli borghi collinari, ma con caratteristiche simili, in un contesto edilizio e ambientale di indiscutibile pregio.

L'abbinamento di alcuni schemi qualitativi con situazioni reali permette di cogliere degli aspetti costruttivi che in genere sfuggono all'osservazione.

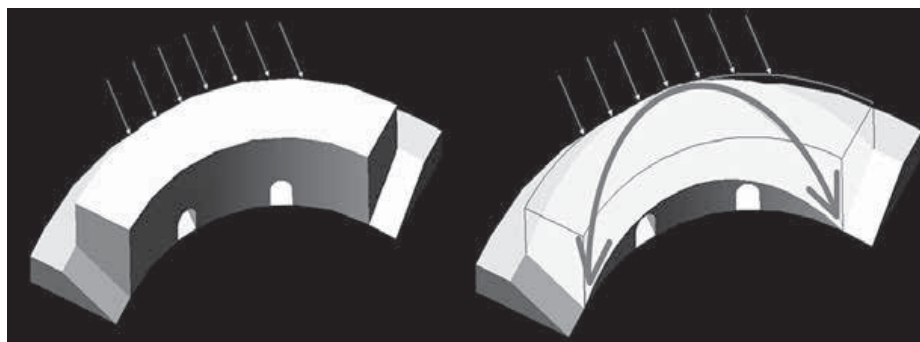
Il primo è il caso di un aggregato curvo che prospetta sulla Piazza del Campo e che si estende in



5. Siena, Piazza del Campo: esempio di aggregato edilizio ad impianto concavo su lato a valle e dell'effetto diga di contenimento che si genera spontaneamente.



6. Il meccanismo resistente innescato da azioni sismiche agenti verso valle viene esplicato sul fronte di valle e all'interno del corpo di fabbrica.



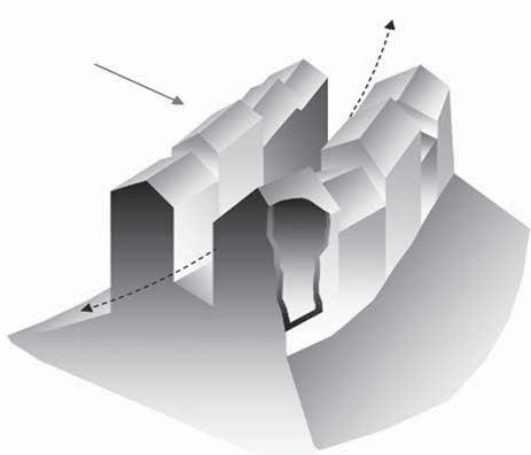
profondità fino alla via principale retrostante, collocata ad una quota superiore.

Il meccanismo resistente che va a schiacciare le cellule l'una contro l'altra, come se si trattasse dei conci di un arco, si esplica non solo a livello della parete di valle, ma sfrutta l'intero corpo di fabbrica, inglobando i muri interni e gli stessi orizzontamenti intermedi e di copertura.

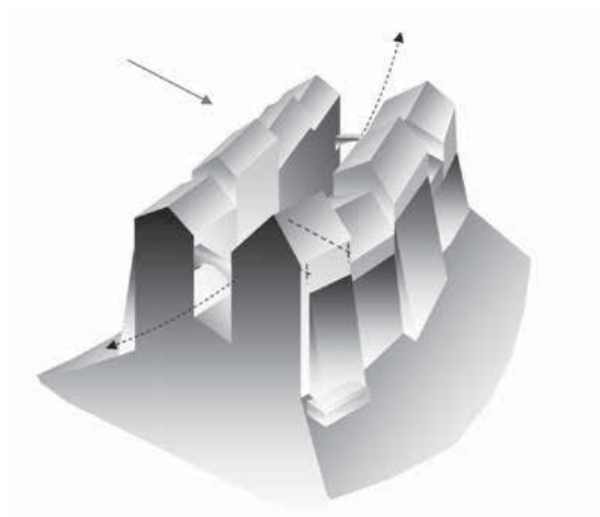
Pure nel caso di Siena appare interessante il confronto con un altro aggregato edilizio esposto su Piazza del Mercato, dove invece si rileva la situazione opposta, con il fronte convesso rivolto a valle.

In queste situazioni, caratterizzate da una curvatura appena accennata, il meccanismo di difesa tende a generarsi ugualmente, ma con qualche difficoltà che si può intuire dal confronto fra il funzionamento di un arco e di una piattabanda. L'aggregato lineare o leggermente curvo corrisponde alla "piattabanda", evidentemente meno stabile di un arco.

Nel momento in cui il fronte di valle si allenta e viene sottoposto a trazione le pareti esposte rischiano di distaccarsi e crollare. Naturalmente a soffrire maggiormente questa situazione sono le



7. Siena, Piazza del Mercato: esempio di aggregato edilizio ad impianto convesso sul lato a valle e schema qualitativo.



8. Provvedimenti antisismici adottati in configurazioni simili, mediante l'inserimento di speroni e contrafforti, tiranti sbatocchi.

parti sommitali, dove il distacco fra le cellule è più probabile e gli effetti risultano amplificati.

Può essere utile confrontare questo modello di analisi con il rilevamento dei danni prodotti dal terremoto che colpì la città nel 1798, per avere anche un riscontro concreto. In ogni caso è sufficiente vedere come sono stati eseguiti i consolidamenti, le ricostruzioni dei paramenti, di speroni

e ripiombature, per avere conferma di quanto accaduto.

Situazioni più complesse sono riconducibili alla stessa visione e ai criteri di prevenzione che prima di interessare la scala edilizia e costruttiva si devono esplicitare alla dimensione urbana o, quanto meno, di aggregato.

Quando l'azione di contenimento di speroni e



9. Aggiunta di cappelle laterali nelle chiese a navata unica funzionale alla stabilità delle pareti perimetrali.

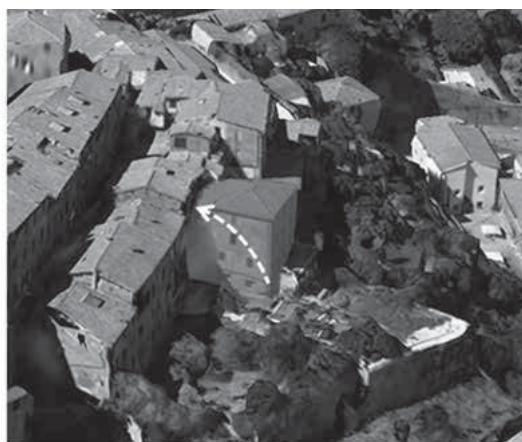
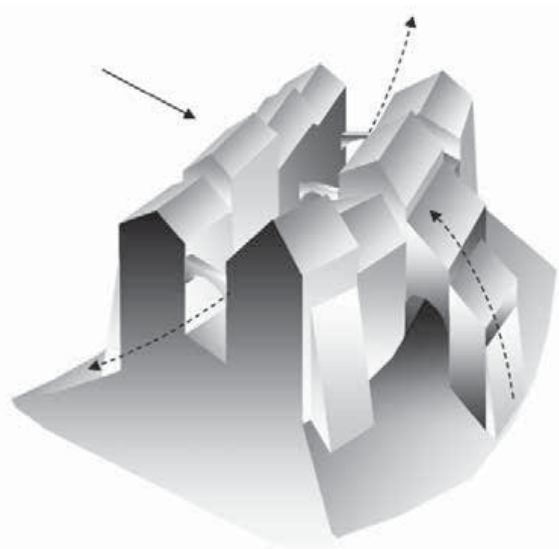
contrafforti non è sufficiente a dare stabilità d'insieme si ricorre alla costruzione di vere e proprie strutture affiancate, in genere collocate sul lato a valle, dove contrastano meglio i fenomeni gravitativi e quindi destinate a funzionare come delle puntellature.

Il criterio è lo stesso adottato in passato nell'edilizia di culto, in particolare nelle chiese a navata unica, dove la realizzazione di cappelle laterali, oltre a rispondere ad esigenze funzionali, serviva a dare stabilità alla costruzione.

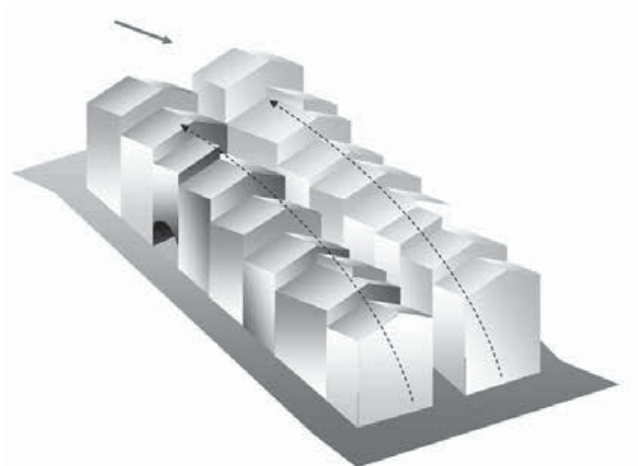
Alla scala superiore la tecnica equivale alla co-

struzione di edifici-sperone, costituiti da corpi che a loro volta sono soggetti agli stessi fenomeni di dissesto, ma che nel complesso conferiscono all'organismo strutturale una maggiore inerzia e stabilità d'insieme.

Con lo stesso criterio in passato venivano costruiti edifici contigui lungo i pendii, facendo in modo di sostenere l'uno con l'altro, fino a scaricare alla base gli sforzi trasmessi dalle costruzioni a monte. In realtà non si tratta mai di costruzioni appoggiate su piani inclinati,



10. Siena: aggregato edilizio con corpi di contrasto collocati sul lato del pendio.



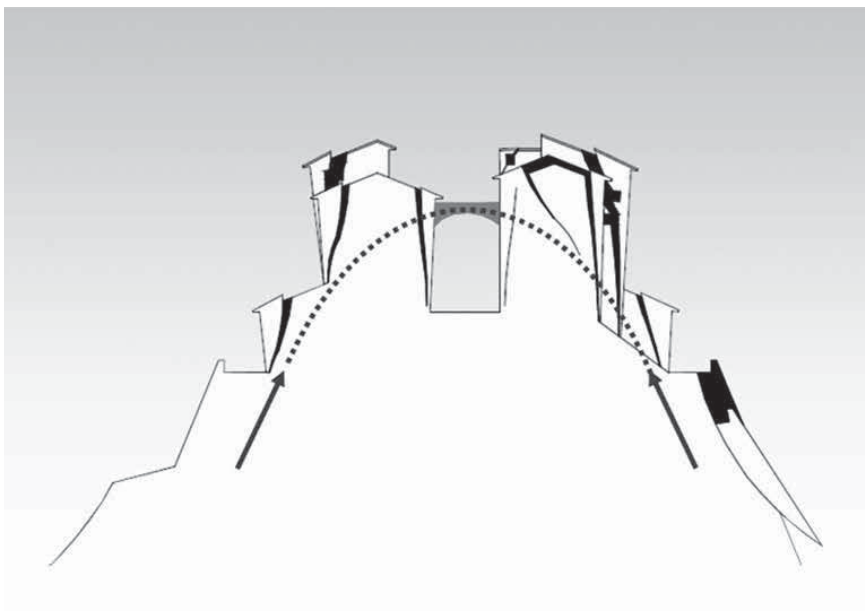
11. Siena: schema tipologico e immagine della Contrada del Bruco, con gli edifici scalati secondo il pendio naturale, concepiti in modo da formare un unico organismo strutturale dove ciascuna cellula tende a sostenere quelle sovrastanti.

ma impostate su gradoni sovrapposti ed è solo in fase sismica che si manifesta l'esigenza di un contrasto reciproco determinante per la stabilità d'insieme.

La conseguenza diretta di questi criteri costruttivi emerge nella composizione degli aggregati edilizi che di regola si sviluppano seguendo le

curve di livello oppure in direzione ortogonale, secondo la massima pendenza, con problemi di stabilità molto diversi.

In pratica il criterio di base è quello che regola la costruzione di tutta l'edilizia storica, basata sul principio della mutua collaborazione fra edifici contigui, così da costituire un corpo unico. Lo stesso che,



12. Citerna: sezione schematica trasversale dell'abitato con gli edifici ai lati della via inglobati in un meccanismo resistente globale.

ove possibile, invita a creare collegamenti fra aggregati, mediante la costruzione di archi di sbatacchio, lanciati come ponti a cavallo delle vie.

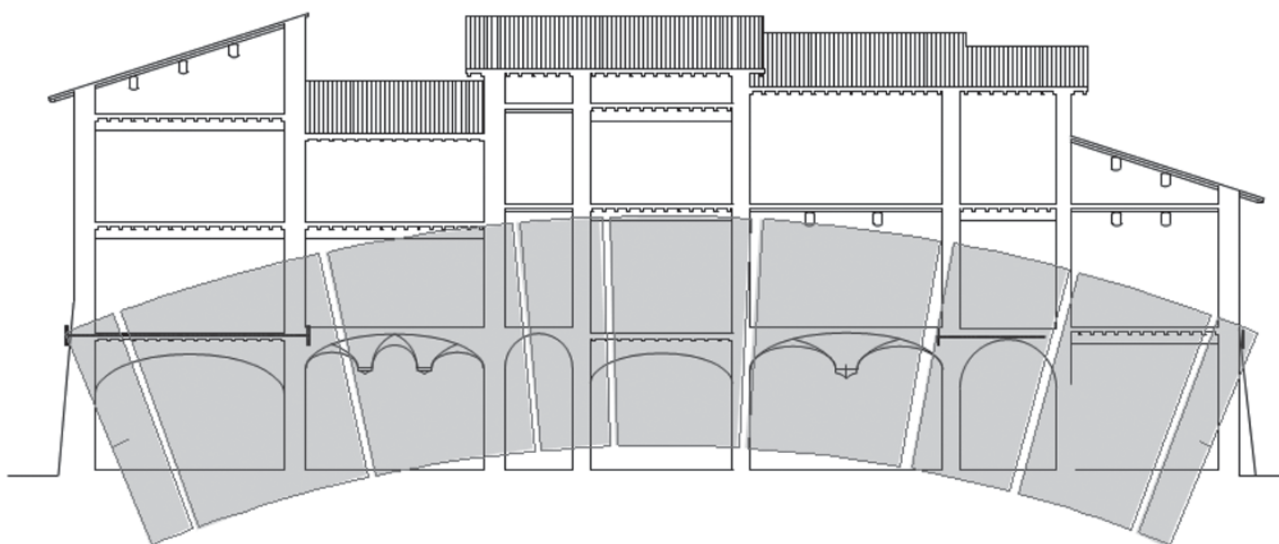
Un criterio in netto contrasto con le moderne tecniche costruttive che privilegiano la creazione di giunti tecnici e la separazione strutturale. Solu-

zione che nelle strutture in c.a. è necessaria anche per evitare dissesti legati alle deformazioni termiche, problema che non riguarda le costruzioni in muratura tradizionale.

Sulla base di queste semplici considerazioni si possono individuare i fronti degli aggregati esposti a



13. Siena: criticità determinate dalla conformazione planimetrica degli aggregati edilizi in relazione alla configurazione di pendio (concavità e convessità del lato a valle).



14. Effetto arco generato spontaneamente un aggregato edilizio costituito da una successione di elementi spingenti a contrasto.

maggior rischi e riconoscere al loro interno le unità strutturali che mostrano maggiore propensione al dissesto e quindi una elevata vulnerabilità sismica.

Operazione che è possibile condurre per ogni borgo storico, a prescindere dalle dimensioni, potendo così ricavare indicazioni utili per intraprendere quel percorso di conoscenza che si concretizza di caso in caso attraverso indagini mirate e specifiche relative alle singole unità strutturali.

Come ultima considerazione va tenuto presente che i meccanismi resistenti illustrati si esplicano al meglio solo se l'organismo edilizio, singolo o aggregato, è costituito da un sistema strutturale di

elementi verticali e orizzontali bene organizzato, in grado di assorbire e trasferire alla fondazione gli sforzi che gli derivano dai carichi statici e dall'azione sismica.

In sostanza ogni aggregato edilizio tende a funzionare come un organismo spaziale, dove i meccanismi resistenti orizzontali si combinano con quelli verticali (fig. 14) per dare origine ad un meccanismo unico, come si intuisce dallo schema di fig. 6.

Giovanni Cangi
Città di Castello