

La prevenzione sismica del patrimonio culturale: il complesso monumentale degli Uffizi a Firenze

E. Curti¹, S. Podestà² ■

Sommario

I lavori di riqualificazione funzionale ed impiantistica, attualmente in corso presso il complesso monumentale degli Uffizi per la creazione della nuova sede museale, hanno permesso di poter analizzare nel dettaglio la fabbrica vasariana recuperando utili informazioni sulle trasformazioni strutturali, sui materiali e sulle tecniche costruttive. In relazione a questo nuovo livello di

conoscenza, si riporta nell'articolo la valutazione della sicurezza sismica del manufatto, secondo il metodo di verifica LV1 della *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007*. La complessità strutturale del manufatto ha permesso di testare l'applicabilità del metodo semplificato proposto dalla Direttiva, evidenziandone criticità e potenzialità.

1. Introduzione

La Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007 (*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*) nasce con lo scopo di permeare il concetto di sicurezza strutturale degli edifici storici con tutti quegli aspetti che difficilmente sono integrabili all'interno di un modello meccanico, per quanto esso possa essere raffinato. Ciò si traduce nell'idea di miglioramento sismico (già messo in evidenza nelle Raccomandazioni del Comitato Ballardini), o con il concetto di sicurezza relativa, la cui ricaduta pratica è quella di responsabilizzare il progettista nel dimostrare l'efficacia dell'intervento proposto, cercando in questo modo di impedire interventi, in molti casi sovradimensionati, che alla prova del terremoto hanno spesso dimostrato la loro inadeguatezza strutturale (Cattari *et al.*, 2007). L'esigenza di fornire precise indicazioni in tempi estremamente brevi, se rapportati agli oltre 500.000 manufatti tutelati del territorio nazionale, ha portato ad articolare la valutazione del rischio sismico all'interno della Direttiva su tre livelli che si distinguono per la crescente conoscenza dell'edificio e la maggior completezza della modellazione strutturale.

In particolare, il primo livello di valutazione della vulnerabilità sismica a livello territoriale, (LV1), "*consente la stima dell'accelerazione di collasso attraverso metodi semplificati, che si basano su un numero limitato di parametri numerici ed utilizzano strumenti qualitativi*

(interrogazione visiva, rilievo critico e stratigrafico, ecc.). In caso di valutazioni più dettagliate, su singoli manufatti, gli strumenti da adottare sono quelli definiti per la progettazione degli interventi di miglioramento, secondo il livello denominato LV3".

Per il livello di valutazione semplificata LV1 la Direttiva descrive per i palazzi monumentali, un modello meccanico semplificato che fornisce una valutazione della risposta sismica in termini di analisi complessiva. Esso permette una stima quantitativa dell'accelerazione al suolo (PGA) che porta al collasso strutturale il manufatto, ipotizzando il comportamento scatolare dell'edificio e la risposta delle pareti nel proprio piano. Quest'ipotesi è corretta solo nel caso in cui si riscontri un'adeguata connessione tra muri ortogonali e tra muri e solai, che, a loro volta, devono soddisfare i requisiti di continuità ed efficace funzione di diaframma.

Il modello valuta, in modo semplificato, la forza di taglio resistente ad ogni piano come la minima ottenuta nelle due direzioni ortogonali lungo cui si suppone agire l'azione sismica definite secondo la direzione prevalente dei muri portanti. Le pareti contribuiscono alla resistenza in funzione del loro orientamento in relazione alla forza sismica e dell'area resistente al netto delle aperture. Il valore del taglio resistente di ciascun piano, per entrambe le direzioni investigate, è ottenuto ipotizzando che il collasso avvenga quando la tensione tangenziale media agente sui maschi del piano raggiunge

¹ Dip. di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova. - ✉ emanuela.curti@unige.it

² Dip. di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova. - ✉ stefano.podesta@unige.it

un'opportuna quota della resistenza del materiale muratura la quale è valutata in funzione del meccanismo di rottura prevalente prevista nei maschi. Il metodo considera, infatti, i meccanismi di rottura proposti dalla OPCM 3431/2005 (§ 8.2.2 e § 11.5.8.1) per pressoflessione e taglio per fessurazione diagonale ed il meccanismo di collasso prevalente viene definito in funzione della snellezza dei maschi al piano attraverso la definizione del coefficiente ξ (1 nel caso di collasso per taglio e 0.8 nel caso di collasso per pressoflessione). Il valore della PGA che porta allo stato limite di collasso si ottiene tramite una procedura analoga all'analisi statica lineare per edifici in muratura ordinari (metodo delle forze statiche equivalenti, con fattore di struttura che riduce lo spettro di risposta in funzione del comportamento non lineare del manufatto - OPCM 3431/2005). Particolare enfasi è posta al contributo di riduzione della resistenza legato ad effetti di irregolarità planimetrica (geometrica e di rigidità) ed altimetrica, alla modalità di rottura delle pareti (meccanismo di piano debole o collasso uniforme) ed alla massa partecipante relativa a quest'ultima. L'accelerazione a_{SLU} dell'edificio è definita come il minimo tra i valori corrispondenti al collasso

per i diversi piani (Direttiva PCM 12 ottobre 2007 - § 5.3).

La Direttiva prevede, inoltre (§5.4.2), di tenere conto di eventuali meccanismi locali per i quali l'edificio risultasse più vulnerabile. Nel caso del Magistero degli Uffizi, tuttavia, non sono emersi meccanismi di danno così vulnerabili da essere analizzati puntualmente già in un'analisi di tipo territoriale. In ogni caso, anche se un auspicabile approfondimento di conoscenza potesse far emergere situazioni locali significative, il calcolo dell'accelerazione a_{SLU} , tramite il modello proposto dalla Direttiva, rappresenterebbe il limite superiore del livello di sicurezza al quale si potrebbe tendere, una volta eliminate tali carenze costruttive.

Le verifiche, riportate nei paragrafi successivi, sono state implementate all'interno del Sistema Informativo per la Valutazione del Rischio Sismico (SIVARS) messo a punto dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali (www.benitutelati.it). Le verifiche sono state condotte adottando come riferimento normativo l'OPCM 3431/05 alla quale la Direttiva del 12 ottobre 2007 fa esplicito riferimento, in attesa di una armonizzazione con le Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 14 gennaio 2008.

2. Ipotesi adottate per la valutazione del livello di sicurezza sismico degli Uffizi (LV1).

La valutazione globale del comportamento sismico dell'edificio (LV1) è stata sviluppata sia considerando l'intera Fabbrica degli Uffizi, suddivisa esclusivamente in Ala di Levante ed Ala di Ponente, sia frazionando il manufatto tenendo conto delle diverse fasi di accrescimento (Conforti, 1993; Conforti, 2007) ed effettuando l'analisi delle singole porzioni. Tale aspetto ha permesso di evidenziare alcuni aspetti peculiari della vulnerabilità sismica del complesso monumentale, sottolineando come il modello proposto possa essere adottato nella valutazione del comportamento sismico degli aggregati dei centri storici che presentano spesso dimensioni e fasi di accrescimento analoghe a quelle degli Uffizi. Questo approccio consente, inoltre, un più facile rispetto dell'ipotesi di comportamento scatolare, su cui si basa il modello di valutazione LV1 proposto dalla Direttiva. Superfrazioni ampliamenti in fasi costruttive diverse possono rendere poco realistico, infatti, un comportamento unitario dell'intero complesso: un'analisi per parti di costruzioni storicamente omogenee garantisce una maggior affidabilità del risultato.

Nel caso specifico, inoltre, la presenza di volte in muratura, anche ai piani alti e l'uso sistematico di catene di collegamento tra le diverse pareti (in particolare all'interno dello stesso complesso) rende plausibile l'ipotesi di comportamento scatolare.

Applicare il modello meccanico proposto a livello territoriale dalla Direttiva impone, tuttavia, la conoscenza preliminare di una serie d'informazioni connesse alla pericolosità del sito ed a fattori di conoscenza del manufatto in termini di caratteristiche del suolo, della geometria del manufatto, dei dettagli costruttivi e delle proprietà meccaniche dei materiali. Queste informazioni, che concorrono a definire il Fattore di Confidenza, non sempre risultano di facile reperibilità, in particolare per un edificio così complesso ed articolato. Spesso, infatti, l'impossibilità di effettuare una campagna diagnostica esaustiva su beni architettonici di grande rilevanza storico-culturale, per esigenze sia economiche che di tutela, rende necessario una preventiva pianificazione della campagna diagnostica. L'analisi storica, in genere disattesa o considerata una sorta d'adempimento burocratico per una valutazione strutturale, risulta, invece, di fondamentale importanza, sia per limitare il numero d'indagini in

zione “storicamente” omogenee, sia per focalizzare l’attenzione su quelle parti meno note o in corrispondenza di eventuali soluzioni di continuità.

L’analisi storica deve, tuttavia, permearsi di nuove valenze che superino il concetto, limitativo, di ricerca archivistica. In quest’ottica un’analisi materica e stratigrafica consentirebbe di validare fasi di accrescimento che non possono essere dedotte unicamente da una lettura (seppur attenta) dei documenti d’archivio.

Per quanto riguarda gli Uffizi, al fine di mantenere il carattere di verifica a livello territoriale proprio del metodo LV1, si è adottato un valore del fattore di confidenza pari a 1.24 (Fig. 1) definito sulla base delle informazioni disponibili all’epoca della redazione del progetto (attualmente in corso – Chimenti, 2007). Livelli di conoscenza maggiori sono sicuramente possibili (come dimostrato dallo studio effettuato dal prof. Faccio dell’Università di Venezia) e si è analizzato, a livello parametrico, un intervallo

Livello di approfondimento raggiunto per i diversi aspetti della conoscenza:
Fattore di confidenza: 1,24

Rilievo geometrico:

- Rilievo geometrico completo
- Rilievo geometrico completo con restituzione grafica dei quadri fessurati e deformativi

Rilievo materico e dei dettagli costruttivi:

- Limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi
- Esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi
- Esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi

Proprietà meccaniche dei materiali:

- Parametri meccanici desunti da dati già disponibili
- Limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali
- Estese indagini sui parametri meccanici dei materiali

Terreno e fondazioni:

- Limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d’informazioni sulle fondazioni
- Disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e sulle fondazioni
- Estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni

Fig. 1
 Fattore di confidenza assunto per l’analisi secondo il livello di valutazione LV1 degli Uffizi (maschera di compilazione del SIVARS - www.benitutelati.it).

compreso tra 1.24 ed 1.09.

Per quanto riguarda la pericolosità del sito si è utilizzato per le verifiche un terremoto caratterizzato da un periodo di ritorno pari a 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni - PGA pari a 0.13 g – G.R. n° 413 del 19/06/2006 ed OPCM, n° 3519); le Linee Guida consentono, infatti, di riferirsi direttamente al valore di pericolosità del sito, superando il concetto di suddivisione del territorio nazionale in zone sismiche, adottato dall’OPCM 3431/05. Questo approccio è stato poi ripreso anche nella recente Norma Tecnica per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008). In mancanza di una caratterizzazione geologica si è dedotto la categoria del suolo di fondazione dalle carte geologiche della Regione Toscana adottando una categoria E (www.geotecnologie.unisi.it). Anche in questo caso, per una valutazione di dettaglio sarebbe stato necessario un incremento d’indagine attraverso prove geognostiche. Tuttavia, il significato speditivo di tale analisi non ha permesso una determinazione più accurata della categoria di suolo. Il livello di protezione è, tuttavia, dipendente sia da un parametro di espo-

sizione (categoria d’uso), sia in relazione alla rilevanza culturale del manufatto (LV1) che definiscono il fattore d’importanza, assunto nel caso specifico pari a 1.2. Con tale valore si ipotizza una probabilità di superamento del 6.5% in 50 anni dell’azione sismica.

Per quanto riguarda la tipologia muraria le pareti murarie si sono ricondotte, in via semplificativa, ad un’unica classe “*muratura in pietre a spacco con buona tessitura*” in riferimento a quanto proposto nella tabella 11.D.1 dell’Allegato 11.D dell’OPCM 3274/03 (Chimenti, 2007). In particolare, per la muratura in esame sono stati assunti, per F_c pari a 1.24, i valori minimi degli intervalli proposti dall’Allegato 11.D, mentre per F_c pari a 1.09 i valori medi. In entrambi i casi i valori così ottenuti sono stati corretti, oltre che dal fattore di confidenza, secondo i parametri proposti nella tabella 11.D.2 dell’Allegato 11.D. In funzione dei sopralluoghi effettuati, del materiale fotografico e delle indagini materiche è stato possibile rilevare la presenza sistematica di connessioni trasversali e l’utilizzo di malta di buone caratteristiche a cui corrispondono i coefficienti correttivi riportati in tabella 1.

Tabella 1 - Coefficienti correttivi adottati secondo quanto proposto tabella 11.D.2 dell'Allegato 11.D dell'OPCM 3431/05.

Tipologia muraria	Parametri di miglioramento	Coeff. correttivi	
		Param. resis.	Param. deform.
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	Buona connessione trasversale Malta di buona qualità	1.69	1.3

Il valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura è quindi pari a $\tau_0 = 9.46 \text{ N/cm}^2$ per $F_c=1.24$ e pari a $\tau_0 = 10.98 \text{ N/cm}^2$ per $F_c=1.09$. Si sottolinea, inoltre, come gli orizzontamenti caratterizzati da volte in muratura e solai piani siano stati computati considerando caso per caso le diverse tipologie di carico, sia permanente sia variabile, in relazione alla combina-

zione a Stato Limite Ultimo proposta dalla OPCM 3431/05. In particolare, nel caso delle volte a padiglione dell'Ala di Levante del primo piano, l'individuazione di un complesso sistema di controvolte estradossali ha permesso di computare correttamente il carico del riempimento con riduzioni di circa il 50% rispetto ad una situazione totalmente piena.

3. Valutazione del comportamento sismico: analisi globale

La Galleria degli Uffizi presenta caratteristiche architettoniche, morfologiche e costruttive che rendono l'intero complesso monumentale assimilabile più ad un aggregato urbano (evoluto nel tempo), che ad un classico palazzo storico. Oltre alla particolare forma ad U con due ali praticamente parallele ed alle dimensioni (sviluppo longitudinale di oltre 145 metri), quello che caratterizza il complesso architettonico sono le continue trasformazioni che hanno modificato il manufatto dall'inizio lavori (1559), determinando una continua serie di cambiamenti legati a nuove destinazioni d'uso od a dissesti verifi-

catosi nel corso dei secoli (Fig. 2). Sebbene l'analisi storica del manufatto esuli dai risultati prefissati in questo studio, è emerso come tenere in considerazione delle diverse fasi costruttive (Reccardo e Scandolo, 2009) possa influenzare significativamente la valutazione del comportamento sismico già a livello territoriale.

A fronte di una regolarità esterna delle campiture delle pareti perimetrali corrisponde, internamente, una suddivisione frutto delle diverse trasformazioni che hanno caratterizzato l'edificio (Conforti 2007; Funis, 2007). Tale complessità risulta di fatto una delle problematiche più critiche nell'applicazione di un modello semplificato. Da un lato, infatti, la necessità di

Fig. 2
Vista dall'alto della Galleria degli Uffizi: presenza di porzioni con altezze differenti.





Pianta piano terra

Pianta piano primo

Pianta piano secondo

Fig. 3
Piante dei diversi piani degli Uffizi (in Cecchi e Paolucci, 2007).

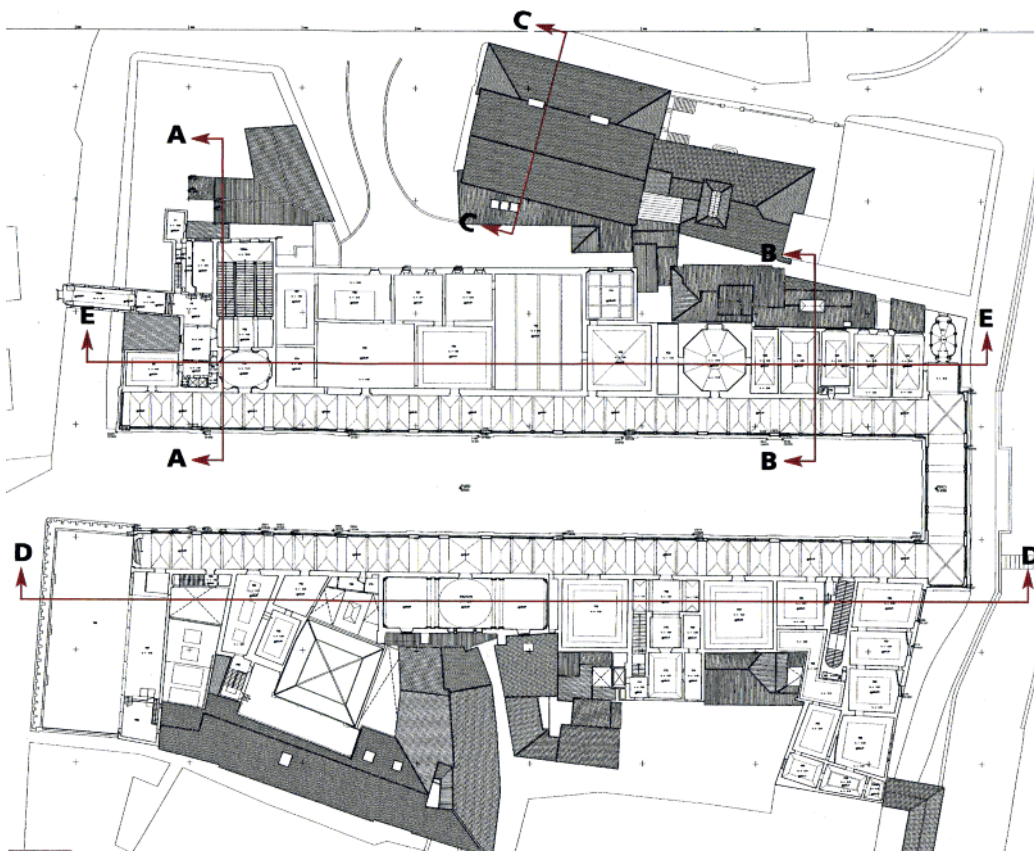


Fig. 4
Pianta del secondo piano degli Uffizi con riportate le sezioni (in Cecchi e Paolucci, 2007).

operare su scala territoriale non consente, in genere, di avere tempi e mezzi per definire le peculiarità costruttive del manufatto, dall'altro, anche quando sono rilevabili, i modelli semplificati che si adottano non permettono di computarle correttamente. La presenza di piani ammezzati a quote e in posizioni diverse, sia al piano terra sia al piano primo, causano per esempio, una irregolarità altimetrica che, se è non possibile trascurare (Figg. 3-7), risulta critica tenere in considerazione per le ipotesi stesse su cui si basa il modello meccanico adottato. Inoltre, la presenza di muri in falso, posizionati su archi di sostegno estradossali rispetto alle volte del primo piano ha evidenziato come, un rilievo critico-tecnologico debba essere realiz-

zato già in una valutazione semplificata, al fine di non trascurare quelle vulnerabilità macroscopiche intrinseche del manufatto (Convenzione di ricerca tra MiBAC ed IUAV).

In particolare, il ruolo dei mezzanini, nel modello meccanico proposto dalla Linee Guida, basato sul calcolo della resistenza a taglio a livello di ogni singolo piano, può essere tenuta in conto principalmente in relazione a due fattori: l'incremento di massa e la riduzione dell'altezza libera del maschio murario. Il primo presenta ripercussioni sia sulla posizione del centro di massa di piano (e quindi su quasi tutti i parametri necessari per LV1) sia sulla massa sismica totale dell'edificio. Il secondo, invece, riduce la snellezza degli elementi resistenti incremen-

Fig. 5
Sezione trasversale A-A, in
corrispondenza dello
Scalone vasariano (in
Cecchi e Paolucci, 2007).



Fig. 6
Sezione trasversale B-B, in
corrispondenza della sala
di Durer: si noti la totale
mancanza del sistema di
contro volte estradossali (in
Cecchi e Paolucci, 2007).

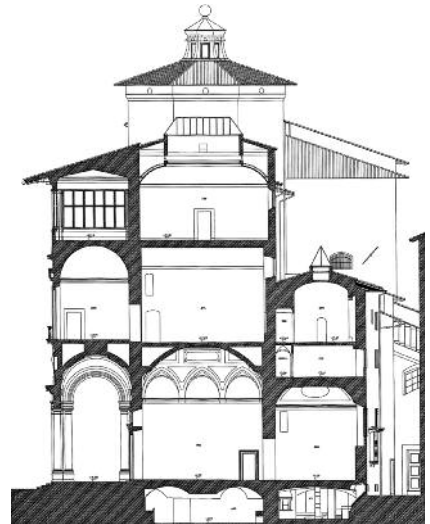


Fig. 7
Sezioni longitudinali D-D ed
E-E della Fabbrica
Vasariana degli Uffizi (in
Cecchi e Paolucci, 2007).



tando il numero di elementi tozzi rispetto a quelli snelli, con la possibilità di elevare il coefficiente ξ da 0.8 a 1.

Nel caso specifico, volendo mantenere il carattere semplificato della valutazione, i mezzanini sono stati considerati sia come massa aggiuntiva che modifica il baricentro del piano, sia come riduttore della snellezza. Per tenere conto della differenza di massa che si poteva creare, si sono definiti dei solai fittizi che fossero in grado di ripristinare le caratteristiche statiche del piano. Al fine di limitare, tuttavia, gli oneri computazionali del modello si è operato una prima semplificazione connessa a suddividere l'intero manufatto in due porzioni: Ala di

Levante e Ala di Ponente. Nonostante la presenza di un elemento di raccordo tra le due Ali (lunghezza di circa 35 m), numerose tesi (supportate da ampia documentazione storica) concorrono ad individuare una discontinuità tra le due Ali ed il corridoio sull'Arno: si sottolinea, infatti, come questo elemento non fosse previsto nel progetto iniziale del Vasari e sia stato inserito, in un secondo momento, durante la costruzione del manufatto.

Di seguito sono, pertanto, riportati i risultati della analisi LV1 per Ala di Levante e Ala di Ponente nella duplice ipotesi di $F_c = 1.24$ e $F_c = 1.09$. Le direzioni di collasso x ed y stanno ad indicare rispettivamente il lato parallelo e trasversale alle



Tabella 2 - Parametri di calcolo per l'Ala di Levante degli Uffici

Parametri di calcolo	
Massa sismica totale	60452139 kg
Periodo dell'edificio	0.61 s
C (T)	2.05
Fattore di importanza	1.2

Tabella 3 - Ala di Levante degli Uffici: accelerazioni di collasso ai diversi piani ($F_c = 1.24$)

	Piano terra		Piano primo		Piano secondo	
	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y
Area maschi	379.5 m ²	456.4 m ²	383.2 m ²	392.9 m ²	284.5 m ²	216.6 m ²
β	1.20	1.21	1.25	1.06	1.14	1.09
ξ	0.8	0.8	0.8	1	0.8	1
Numero maschi	141	94	94	117	83	42
μ	0.81	0.84	0.80	0.81	0.80	0.84
τ	211281 N/m ²	211281 N/m ²	160989 N/m ²	160989 N/m ²	129585 N/m ²	129585 N/m ²
F_{SLU}	43682628 N	53412876 N	31582163 N	48491475 N	20693477 N	21484754 N
a_{SLU}	1.06 m/s ²	1.29 m/s ²	1.15 m/s ²	1.76 m/s ²	1.50 m/s ²	1.56 m/s ²

Tabella 4 - Ala di Levante degli Uffici: valutazione dell'indice di sicurezza ($F_c = 1.24$)

Piano	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.06	1.29
Primo	1.15	1.76
Secondo	1.50	1.56
Indice di Sicurezza	0.55	

Tabella 5 - Ala di Levante degli Uffici: accelerazioni di collasso ai diversi piani ($F_c = 1.09$)

	Piano terra		Piano primo		Piano secondo	
	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y
Area maschi	379.5 m ²	456.4 m ²	383.2 m ²	392.9 m ²	284.5 m ²	216.6 m ²
β	1.20	1.21	1.25	1.06	1.14	1.09
ξ	0.8	0.8	0.8	1	0.8	1
Numero maschi	141	94	94	117	83	42
μ	0.81	0.84	0.80	0.81	0.80	0.84
τ	246248 N/m ²	246248 N/m ²	190467 N/m ²	190467 N/m ²	156151 N/m ²	156151 N/m ²
F_{SLU}	50809376 N	62226281 N	37364998 N	57309741 N	24958664 N	25883580 N
a_{SLU}	1.31 m/s ²	1.61 m/s ²	1.46 m/s ²	2.24 m/s ²	1.96 m/s ²	2.03 m/s ²

Tabella 6 - Ala di Levante degli Uffici: valutazione dell'indice di sicurezza ($F_c = 1.09$)

Piano	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.25	1.53
Primo	1.38	2.11
Secondo	1.84	1.91
Indice di Sicurezza	0.65	

diverse Ali, come indicato in figura 8.

Si evidenzia come la struttura entri in crisi per collasso di piano debole del piano terra, per un'azione del sisma in direzione x e l'indice di sicurezza risulta pari rispettivamente a 0.55 e

0.65 per $F_c = 1.24$ e $F_c = 1.09$ (variazione dell'indice di sicurezza pari a circa il 18%). Nell'ottica di non considerare il fattore di importanza ($\gamma_i = 1$) si ottiene un valore, sempre nei due casi, pari a 0.67 e a 0.78.

Tabella 7 - Parametri di calcolo per l'Ala di Ponente degli Uffizi

Parametri di calcolo	
Massa sismica totale	74178764 kg
Periodo dell'edificio	0.62 s
C (T)	2.02
Fattore di importanza	1.2

Tabella 8 - Ala di Ponente degli Uffizi: accelerazioni di collasso ai diversi piani ($F_c = 1.24$)

	Piano terra		Piano primo		Piano secondo	
	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y
Area maschi	603.8 m ²	557.4 m ²	497.8 m ²	539.9 m ²	274.3 m ²	224.1 m ²
β	1.06	1.08	1.25	1.14	1.01	1.05
ξ	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1
Numero maschi	182	146	170	161	93	44
μ	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80	0.82
τ	201214 N/m ²	201214 N/m ²	154037 N/cm ²	154037 N/cm ²	130024 N/cm ²	130024 N/cm ²
F_{SLU}	76061638 N	66586585 N	43608461 N	46893889 N	22672811 N	22895815 N
α_{SLU}	1.53 m/s ²	1.34 m/s ²	1.31 m/s ²	1.41 m/s ²	1.36 m/s ²	1.38 m/s ²

Tabella 9 - Ala di Ponente degli Uffizi: valutazione dell'indice di sicurezza ($F_c = 1.24$)

Piano	$\alpha_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$\alpha_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.53	1.34
Primo	1.31	1.41
Secondo	1.36	1.38
Indice di Sicurezza	0.69	

Tabella 10 - Ala di Ponente degli Uffizi: accelerazioni di collasso ai diversi piani ($F_c = 1.09$)

	Piano terra		Piano primo		Piano secondo	
	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y	Direzione x	Direzione y
Area maschi	603.8 m ²	557.4 m ²	497.8 m ²	539.9 m ²	274.3 m ²	224.1 m ²
β	1.06	1.08	1.25	1.14	1.01	1.05
ξ	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1
Numero maschi	182	146	170	161	93	44
μ	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80	0.82
τ	235024 N/cm ²	235024 N/cm ²	182844 N/cm ²	182844 N/cm ²	156714 N/cm ²	156714 N/cm ²
F_{SLU}	88900209 N	77785278 N	51748581 N	55666514 N	27367947 N	27599871 N
α_{SLU}	1.53 m/s ²	1.34 m/s ²	1.31 m/s ²	1.41 m/s ²	1.36 m/s ²	1.38 m/s ²

Tabella 11 - Ala di Ponente degli Uffizi: valutazione dell'indice di sicurezza ($F_c = 1.09$)

Piano	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.81	1.60
Primo	1.58	1.70
Secondo	1.67	1.69
Indice di Sicurezza	0.83	

Per quanto riguarda l'Ala di Ponente si evidenzia come la struttura entri in crisi per collasso di piano debole del piano primo, per un'azione del sisma in direzione x e l'indice di sicurezza risulta pari rispettivamente a 0.69 e 0.83 per $F_c=1.24$ e $F_c=1.09$. Anche in questo caso la variazione dell'indice di sicurezza legata al diverso valore del fattore di confidenza risulta pari al 20%. Nell'ottica di non considerare il fattore di importanza ($\gamma_i = 1$) si ottiene un valore, sempre nei due casi, pari a 0.82 e a 0.99.

L'analisi effettuata mostra come per entrambe le Ali della Galleria degli Uffizi il valore dell'indice di sicurezza risulti di poco inferiore ad 1 e come, dal modello semplificato, emergerebbe che la sicurezza del manufatto risulterebbe di poco inferiore rispetto a quella auspicabile, coerentemente con i requisiti richiesti per le costruzioni adeguate. Il dato importante da sottolineare è, tuttavia, la variabilità dell'indice di sicurezza in relazione all'incremento di conoscenza. La differenza dei valori ottenuti pone in evidenza come una conoscenza non adeguata del manufatto permetta di giungere a valutazioni troppo cautelative. Questo aspetto risulta prioritario proprio per un'analisi territoriale il cui significato è principalmente finalizzato a stabilire delle priorità d'intervento.

Una graduatoria con valori tutti molto inferiori all'unità potrebbe determinare l'impossibilità di individuare le situazioni più vulnerabili in quanto ogni manufatto sarebbe giudicato non idoneo a sopportare il sisma di riferimento. Inoltre, nel caso di manufatti con livelli di conoscenza diversi (e quindi con F_c differenti) la graduatoria potrebbe essere falsata, mettendo in risalto situazioni con F_c elevati ma con una vulnerabilità reale limitata. Queste considerazioni determinano la necessità di ridurre al massimo l'influenza del Fattore di Confidenza cercando di adottare valori omogenei ma allo stesso tempo non elevati. L'importanza della conoscenza del manufatto risulta, d'altro canto, uno degli aspetti peculiari della Direttiva del 12 ottobre 2007 che individuano un percorso di studio ed analisi che deve essere effettuato preliminarmente alla mera verifica numerica, in modo da

individuare quei parametri, anche qualitativi, che individuano le vulnerabilità del manufatto e dall'altra parte siano in grado di validare le ipotesi su cui si basa il modello di verifica proposto nella Direttiva del 12 ottobre 2007.

L'analisi effettuata non permette, tuttavia, di capire la reale vulnerabilità dei corpi edilizi che compongono gli Uffizi, nonostante la semplificazione legata alla suddivisione nelle due Ali. Per tale ragione, in funzione dell'estensione del manufatto, delle fasi costruttive e delle trasformazioni subite, si è ricercata una valutazione del rischio sismico in relazione alle fasi di accrescimento. Tale suddivisione è stata effettuata sia in funzione delle informazioni ottenibili dalla ricerca storica archivistica (Ala di Ponente e di Levante) sia in funzione di una suddivisione squisitamente ingegneristica al fine di individuare parti presumibilmente omogenee (Ala di Levante). Questa seconda suddivisione è stata proposta proprio per valutare in maniera più marcata il possibile comportamento sismico delle diverse unità strutturali.

Occorre, infatti, sottolineare come le informazioni analizzate, seppur molteplici e talvolta molto dettagliate, sono di natura prevalentemente storico - archivistica o legate all'importanza della conservazione delle opere d'arte custodite all'interno della galleria o alle diverse variazioni di allestimento museografico e delle sale che si sono susseguite nel tempo, senza però riferire in maniera soddisfacente sulle modifiche strutturali apportate. A tale proposito basti ricordare come il recente intervento di rinnovamento delle prime 7 sale della galleria (1953-56 ad opera di una commissione formata da Gardella, Michelucci e Scarpa), sia stato realizzato solo su indicazioni in corso d'opera senza alcuna documentazione progettuale preventiva, rendendo difficile valutare a posteriori l'entità e la significatività dell'intervento (Godoli, 2007). Non sono, quindi, da escludersi trasformazioni strutturali anche importanti non registrate nel corso della storia, che possono essere arrivate ad oggi in maniera silente e quindi di difficile individuazione.

4. Valutazione del comportamento sismico: analisi delle singole porzioni strutturali

Al fine di individuare le reali vulnerabilità del manufatto, le due Alci sono state suddivise in una serie di porzioni strutturali ipotizzandone un comportamento sismico sostanzialmente autonomo. L'Ala di Levante è stata suddivisa in 7 parti, mentre l'Ala di Ponente è stata suddivisa in 3 parti (figura 8), conducendo, per ciascuna di esse, separatamente, la valutazione del livello di sicurezza secondo il metodo LV1. L'obiettivo dell'analisi è stato quello di ottenere sia una stima maggiormente accurata del rischio sismico associato al manufatto, sia di individuare le porzioni più vulnerabili.

L'Ala di Levante risulta essere a prima vista più compatta, regolare ed uniforme in quanto costruita quasi totalmente durante l'operazione di riqualificazione urbanistica voluta dal Duca Cosimo I. Nella costruzione della Fabbrica sono state inglobate tre porzioni preesistenti: la chiesa di San Pier Scheraggio ed i palazzi sul Vicolo chiuso dei Castellani e Vicolo dell'Oro. Tali preesistenze sono state, quindi, analizzate separatamente poiché, secondo quanto riportato dai documenti dell'epoca, sono state mantenute intatte durante la riqualificazione avvenuta in quegli anni (Conforti 1993).

nuta in quegli anni (Conforti 1993).

L'Ala di Ponente è costituita da tre porzioni che possono essere considerate strutturalmente indipendenti, quali: l'antica Loggia dei Lanzi, detta anche loggia dell'Orcagna, la parte della Zecca, che comprende anche le Reali Poste, e il così detto braccio corto degli Uffizi. Queste ultime due porzioni sono collegate solo tramite un corridoio poiché le due parti manifestano una separazione dovuta alla presenza di Via Lambertesca. Sulla base di questa configurazione, dal punto di vista strutturale, appare insensato ipotizzare che il loggiato da solo sia in grado di trasferire le sollecitazioni sismiche dal complesso della Zecca a quello degli Uffizi Corti, e viceversa; per tale motivo queste due porzioni sono state analizzate separatamente. La Loggia dei Lanzi, data la sua particolare forma strutturale, come mostrato in figura 9, può essere studiata mediante modelli che collegano vulnerabilità locali, pertanto non è stata considerata nelle analisi di seguito riportate.

I risultati delle diverse porzioni strutturali, come identificati in figura 8, sono limitati, per ovvie ragioni di spazio, unicamente al valore dell'accelerazione allo stato limite ultimo per ogni piano e nelle due direzioni ed all'indice di sicurezza per un fattore di confidenza pari a 1.24 e



Fig. 8
Suddivisione degli Uffizi in porzioni con comportamento strutturale che può essere assunto indipendente:
1) Chiesa di San Pier Scheraggio
2) Scalone vasariano
3) Edificio su Piazza del Grano
4) Ex Teatro Mediceo
5) Stanze dell'Armeria
6) Stanze su Vicolo dell'Oro
7) Torre medievale
8) Uffizi corti
9) Parte della Zecca
10) Loggia dei Lanzi

1.09, in analogia con le analisi precedenti (§ 3). Anche in questo caso è possibile notare la sensibilità del valore dell'indice di sicurezza al livello di conoscenza (fattore di confidenza). Come in parte già accennato, nonostante il livello di valutazione sia semplificato e, per-

tanto, non si possa teoricamente richiedere informazioni di dettaglio per non perdere l'applicabilità a livello territoriale, la possibilità di disporre di dati di qualità deve essere attentamente ricercata, in particolare modo, per edifici tutelati.

Tabella 12 - Chiesa di San Pier Scheraggio dell'Ala di Levante degli Uffici (A1): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	0.89	2.50	1.05	2.96
Primo	1.26	1.55	1.51	1.87
Secondo	0.73	1.50	0.89	1.83
Indice di Sicurezza	0.38		0.47	

Tabella 13 - Scalone Vasariano dell'Ala di Levante degli Uffici (A2): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.13	1.61	1.34	1.90
Primo	0.93	2.59	1.12	3.11
Secondo	0.89	1.81	1.08	2.20
Indice di Sicurezza	0.47		0.57	

Tabella 14 - Ex-Teatro Mediceo dell'Ala di Levante degli Uffici (A4): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	0.99	1.89	1.16	2.23
Primo	1.39	1.47	1.66	1.75
Secondo	2.39	1.50	2.93	1.83
Indice di Sicurezza	0.52		0.61	

Tabella 15 - Stanze dell'Armeria dell'Ala di Levante degli Uffici (A5): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	0.98	0.98	1.15	1.15
Primo	1.71	1.36	2.06	1.63
Secondo	1.56	2.14	1.91	2.61
Indice di Sicurezza	0.51		0.60	

Tabella 16 - Stanze su Vico dell'Oro dell'Ala di Levante degli Uffici (A6): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.32	1.48	1.58	1.77
Primo	1.03	2.17	1.28	2.68
Indice di Sicurezza	0.54		0.67	

Tabella 17 - Torre medioevale dell'Ala di Levante degli Uffizi (A7): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.69	1.03	2.01	1.23
Primo	1.19	1.64	1.42	1.97
Secondo	2.16	4.28	2.68	5.30
Indice di Sicurezza	0.54		0.64	

Tabella 18 - Edificio su Piazza del Grano dell'Ala di Levante degli Uffizi (A3): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	3.14	2.31	3.87	2.84
Indice di Sicurezza	1.21		1.48	

Tabella 19 - Uffizi Corti dell'Ala di Ponente degli Uffizi (A8): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.29	1.85	1.52	2.184
Primo	1.56	1.53	1.88	1.83
Secondo	1.54	1.40	1.88	1.72
Indice di Sicurezza	0.67		0.79	

Tabella 20 - Parte della Zecca dell'Ala di Ponente degli Uffizi (A9): valutazione dell'indice di sicurezza

Piano	$F_c = 1.24$		$F_c = 1.09$	
	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,xi}$ (m/s ²)	$a_{SLU,yi}$ (m/s ²)
Terra	1.68	1.26	2.00	1.50
Primo	1.21	1.26	1.46	1.53
Secondo	0.79	0.90	0.97	1.10
Indice di Sicurezza	0.41		0.51	

5. Analisi dei risultati

Al fine di permettere un confronto tra la valutazione della sicurezza dell'intero manufatto e delle porzioni in cui è stata suddivisa l'Ala di Levante, in seguito all'analisi storica, si riportano, in tabella 21, i valori dei diversi indici di sicurezza che sono stati ottenuti, con riferimento ad un fattore di confidenza pari a 1.09. Le direzioni di collasso x ed y stanno ad indicare rispettivamente il lato parallelo e trasversale alle diverse Ali, come indicato in figura 8. Il piano di collasso individua la quota rispetto alla quale si è calcolato il valore di accelerazione a stato limite ultimo più basso.

Se si esclude l'edificio su Piazza del Grano, che non può essere considerato realmente parte del complesso monumentale (edificio costituito da un

solo piano e di limitata altezza), si possono trarre alcune interessanti osservazioni. In primo luogo, analizzando il valore dell'indice di sicurezza dell'Ala di Levante nel suo complesso si può notare come sia analogo al valore massimo registrato per le singole parti. La porzione che risulta più vulnerabile è quella di San Pier Scheraggio e tale risultato trova conferma dall'analisi costruttiva di tale parte del fabbricato. Adibita in passato ad una chiesa, ne mantiene di fatto ancora la conformazione strutturale, confermando l'elevata vulnerabilità di tale tipologia di edifici (Lagomarsino e Podestà, 2004). Considerazioni leggermente differenti devono, invece, essere fatte per la Torre medioevale. Il calcolo dell'indice di sicurezza per questa porzione richiederebbe, infatti, l'utilizzo del modello LV1 propo-

Tabella 21 - Elenco sintetico dell'indice di sicurezza per l'Ala di Levante

	Indice di Sicurezza	Direzione di collasso	Piano di collasso
Ala levante completa	0.65	X	Terra
San Pier Scheraggio	0.47	X	Secondo
Scalone Vasariano	0.57	X	Secondo
Ex Teatro Mediceo	0.61	X	Terra
Stanze dell'Armeria	0.60	X-Y	Terra
Stanze su Vicolo dell'Oro	0.67	X	Primo
Torre Medievale	0.64	Y	Terra
Edificio su Piazza del Grano	1.48	Y	Terra

Fig. 9
L'antica Loggia dei Lanzi,
Uffizi, Firenze.



Fig. 10
Torre medievale, Uffizi,
Firenze.



sto nella Direttiva per la tipologia *torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale*. In realtà, essendo la torre a contatto con strutture adiacenti per tutta la sua lunghezza, come mostrato in figura 10, è stata considerata come parte integrante del complesso.

Lo Scalone Vasariano è assimilabile ad un grosso vano scala, che ha subito nel tempo numerosi interventi di natura strutturale. Fu, infatti, costruito per collegare soltanto il piano terra al primo piano poiché il Corridoio Vasariano doveva essere accessibile solo dal Palazzo della Signoria (Funis, 2007). Nel '700 lo Scalone venne rifatto e fu introdotto anche il collegamento col secondo piano. Essendo in pratica schematizzabile come un rettangolo di lati 10 m per 26 m circa, senza elementi interni di irrigidimento, esso presenta una vulnerabilità intrinseca che deve essere considerata criticamente durante l'analisi dell'indice di sicurezza ottenuto.

Un altro aspetto importante viene messo in evidenza dal risultato delle stanze adiacenti a Vicolo dell'Oro, che risultano la parte sismicamente meno vulnerabile. Le ridotte dimensioni in elevazione diminuiscono la vulnerabilità di questa porzione di edificio che risulta, con buona

approssimazione, essere una parte del quartiere della Baldracca che nel 1600 subì l'operazione di "riqualificazione urbanistica". "Conoscendo" la cura dei dettagli e l'arte ingegneristica del Vasari e di Bernardo Puccini appare difficile credere che abbiano potuto mantenere edifici che non fossero "ben costruiti" (Conforti 2007). Le ultime considerazioni riguardano le due porzioni di dimensioni più rilevanti, quali l'ex Teatro Mediceo e le Stanze dell'Armeria che presentano stesso piano e stessa direzione di collasso dell'Ala di Levante studiata globalmente, manifestando, tuttavia, un indice di sicurezza più basso dell'indice di sicurezza globale.

È proprio dall'analisi degli indici di sicurezza di tutte le porzioni che si deve ricercare le motivazioni di questa apparente incongruenza. Se si considerano le porzioni ad esclusione dell'ex Teatro Mediceo e delle Stanze dell'Armeria, si può osservare come l'indice di sicurezza sia riferito ad un piano diverso o diversa direzione di collasso rispetto a quello relativo una valutazione globale. Le vulnerabilità peculiari di queste singole parti sono, pertanto, compensate, nella valutazione globale, dalle altre porzioni strutturali, che sono in grado di fornire un lieve

Tabella 22 - Elenco sintetico dell'indice di sicurezza per l'Ala di Ponente

	Indice di Sicurezza	Direzione di collasso	Piano di collasso
Ala ponente completa	0.83	X	Primo
Uffizi Corti	0.79	X	Terra
Zecca e Reali Poste	0.51	X	Secondo

incremento di resistenza in riferimento al cinematicismo che si potrebbe instaurare.

Il risultato dell'analisi globale evidenzia, pertanto, il meccanismo di piano che mediamente, per diverse singole porzioni strutturali, risulta il più vulnerabile; quello per il quale ogni porzione strutturale risulta, in qualche modo, a rischio di danneggiamento. È evidente, che se da un lato questo risultato mediato possa rappresentare un buon parametro per un'analisi territoriale, l'operazione di media che si compie faccia scomparire quelle vulnerabilità peculiari che caratterizzano gli edifici storici, caratterizzati da superfetazioni ed ampliamenti successivi (Giuffrè, 1993). Quando le indicazioni che derivano dall'analisi storica evidenziano la presenza di un "complesso edilizio" costituitosi in fasi successive, un'analisi LV1 che tenga conto delle fasi costruttive e del grado di interconnessione tra le varie parti assume un ruolo prioritario per evidenziare vulnerabilità di singole porzioni strutturali, non tanto connesse a meccanismi locali, ma ad un comportamento globale del manufatto.

Analoghe analisi sono state effettuate sull'Ala di Ponente. In tabella 22, si riportano i dati legati alla valutazione globale e delle singole parti, sempre facendo riferimento ad un livello di conoscenza corrispondente ad un fattore di confidenza pari a 1.09.

L'Ala di Ponente manifesta un comportamento differente rispetto all'Ala di Levante. In primo luogo può essere suddivisa soltanto in due porzioni con massa e dimensioni simili: la parte della Zecca presenta il valore di accelerazione

più basso al secondo piano, dovuto ad una forte riduzione del numero dei maschi murari a livello di tale piano che determina una diminuzione dell'area resistente a taglio molto significativa. Tale situazione non si riscontra per gli Uffizi Corti ed, infatti, il meccanismo di collasso si verifica al piano terra; in entrambi casi la direzione di collasso è rispetto ad x (con riferimento alla figura 8). Poiché le dimensioni delle due parti sono simili, nessuna riesce a pilotare il collasso sul piano in cui essa presenta maggior debolezza, facendo emergere, nell'analisi globale dell'Ala di Ponente, una criticità al piano primo non riscontrabile dall'analisi delle porzioni separate. Anche in questo caso, un'analisi globale avrebbe fatto emergere un valore dell'indice di sicurezza connesso ad un meccanismo mediamente più vulnerabile, ma non sarebbe stata in grado di cogliere le vulnerabilità delle singole parti.

È importante ricordare come la suddivisione per parti dell'Ala di Ponente sia strettamente legata all'analisi storica e trovi conferma nell'analisi della sua stessa conformazione strutturale che evidenzia come tale Ala sia di fatto costituita da due porzioni "sismicamente" separate. Gli Uffizi Corti sono stati, infatti, costruiti in periodo successivo alla parte della Zecca e sono tra loro collegate soltanto tramite il loggiato anteriore, che strutturalmente non è in grado di trasferire le sollecitazioni sismiche da un corpo all'altro. Risulta, quindi, in questo caso, poco significativo il risultato dell'analisi globale poiché non rispondente al reale comportamento dinamico della struttura.

6. Conclusioni

Lo studio ha permesso di definire una preliminare valutazione della vulnerabilità sismica del Magistero degli Uffizi. In tale lavoro non sono riportate valutazioni relative ai meccanismi locali legati ad eventuali azioni fuori del piano, in quanto non sono emersi meccanismi di danno così vulnerabili da essere tenuti in considerazione in un'analisi territoriale. La valutazione a livello globale, attraverso un metodo semplificato, ha permesso diversi spunti per la valuta-

zione della sicurezza sismica del manufatto. In particolare la complessità dell'edificio si è prestata a testare l'applicabilità del metodo proposto per l'analisi a livello territoriale del rischio sismico, recentemente proposto dalla Direttiva del 12 ottobre 2007. Dallo studio effettuato si è potuto osservare come l'attendibilità del modello sia fortemente influenzata dal livello di conoscenza del manufatto e come un'attenta analisi storica possa consentire un risultato più congruo delle reali vulnerabilità delle diverse porzioni

strutturali. L'analisi per parti, infatti, ha permesso di ottenere una differente localizzazione della vulnerabilità sismica rispetto all'analisi globale della struttura, individuando i piani critici rispetto a differenti direzioni dell'azione sismica. Quanto emerso dall'analisi storiografica ha consentito di individuare delle criticità localizzate in porzioni del manufatto che si attiverrebbero per azioni sismiche minori rispetto a quelle riscontrate con un'analisi globale. Ciò può permettere di guidare la fase progettuale vera e propria corrispondente ai livelli di verifica LV2 e LV3, sia in termini di localizzazione degli approfondimenti necessari alla progettazione di un eventuale intervento di miglioramento sismico, sia in termini di sequenza temporale di realizzazione diversi lotti di intervento, in

cui spesso sono suddivisi interventi complessi come quello in corso d'opera alla Fabbrica Vasariana. I risultati ottenuti per gli Uffizi evidenziano, infine, le potenzialità del modello LV1 per la valutazione della sicurezza sismica degli aggregati dei centri storici. In tali casi, infatti, l'impossibilità di analizzare, in maniera dettagliata, l'aggregato nel suo complesso, potrebbe essere superata utilizzando il metodo LV1. Si potrebbe, infatti, effettuare una valutazione globale ed, allo stesso tempo, di ogni singola parte caratterizzata da un comportamento sismico indipendente, rimandando i necessari approfondimenti unicamente per la parte di cui si è incaricati, ma avendo chiaro il quadro generale dei fabbricati che caratterizzano l'aggregato nel suo complesso.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali per il finanziamento che ha reso possibile questa ricerca, coordinata dal prof. Sergio Lagomarsino (Università di Genova). Una menzione particolare

all'arch. Laura Moro per la disponibilità riscontrata a supportare tale attività di ricerca. Inoltre, per le utili informazioni acquisite si ringrazia il prof. Paolo Facchio dello IUAV (Università di Venezia) e la prof.ssa Claudia Conforti (Università di Roma Tor Vergata).

Bibliografia

- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 (ottobre 2007) (*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*). G.U. n. 24 del 29.01.2008 suppl. ord. n. 25.
- Bernardini A. (2000) - Attività del Gruppo di Lavoro GNDT-SSN per i rilievi di danno/vulnerabilità sismica degli edifici. In A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici*. Roma, 2000, CNR-GNDT.
- Cattari S., Podestà S., Resemini S. (2007) - Protezione e vulnerabilità sismica di palazzi monumentali: applicazione al caso del Molise dei criteri delle Linee Guida per il patrimonio culturale" in *Atti del XII Convegno "Ingegneria Sismica in Italia"*, Pisa, CD-Rom.
- Cecchi R., Paolucci A. (a cura di) (2007) - *Il Cantiere Uffizi*, Gangemi Ed., Roma.
- Conforti C. (1993) - *Giorgio Vasari architetto*, Electa, Milano.
- Conforti C. (2007) - ...Tredici edifici l'un con l'altro continovati...: la costruzione degli Uffizi di Giorgio Vasari (1559-1579), pp. 363-376 in Cecchi R., Paolucci A., (a cura di), *Il Cantiere Uffizi*, Gangemi Ed., Roma.
- Chimenti A. (2007) - Il percorso del progetto, pp. 191-282 in Cecchi R., Paolucci A., (a cura di), *Il Cantiere Uffizi*, Gangemi Ed., Roma.
- Funis F. (2007) - Il Corridoio Vasariano: idea, progetto e cantiere, pp. 377-391, in Cecchi R., Paolucci A., (a cura di), *Il Cantiere Uffizi*, Gangemi Ed., Roma.
- Godoli A. (2007) - Gli Uffizi: progetti e realizzazioni degli ultimi vent'anni, pp. 91-108, in Cecchi R., Paolucci A., (a cura di), *Il Cantiere Uffizi*, Gangemi Ed., Roma.
- Giuffrè A. (1993) - *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici: il caso Ortigia*, Laterza, Bari.
- OPCM, n° 3274, 20 Marzo (2003) - *Gazzetta Ufficiale* n° 105 del 8 Maggio 2003.
- OPCM, n° 3431, 3 Maggio (2005) - *Gazzetta Ufficiale* n° 107 del 10 Maggio 2005.
- OPCM, n° 3519, 28 Aprile (2006) - All. 1B, Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale. *Gazzetta Ufficiale* n° 108 del 11 Maggio 2006.
- Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 gennaio (2008)(G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30).
- Reccardo D., Scandolo L. (2009) - Valutazione della vulnerabilità sismica del Magistero degli Uffizi, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Genova.
- Regione Toscana, Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431.