

Metodologie di visione artificiale per la documentazione e il monitoraggio strutturale di costruzioni antiche mediante droni

Giuseppe Riccardo Leone¹, Danila Germanese¹, Davide Moroni¹, Maria Antonietta Pascali¹,
Marco Tampucci¹, Andrea Berton²

Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa
Istituto di Fisiologia Clinica, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa
g.leone@isti.cnr.it, danila.germanese@isti.cnr.it, davide.moroni@isti.cnr.it,
maria.antonietta.pascali@isti.cnr.it, marco.tampucci@isti.cnr.it, andrea.berton@ifc.cnr.it

Abstract

La manutenzione e la salvaguardia del complesso patrimonio architettonico italiano rappresentano un'importante sfida che deve essere quotidianamente affrontata dalle soprintendenze e dalle amministrazioni locali e regionali. In quest'ambito, lo sviluppo delle tecnologie ICT può contribuire ad una gestione più efficiente e accurata del costruito storico. In questo intervento, si presenta un sistema di visione artificiale basato sull'utilizzo di droni che permette di monitorare lo stato di conservazione di edifici e strutture nel tempo, andando a quantificare l'entità di lesioni e ammaloramenti. Un front-end di realtà virtuale, ottenuto mediante tecniche fotogrammetriche, permette inoltre di visualizzare i dati trasmessi dal drone contestualmente ai dati raccolti da una rete di sensori wireless per il monitoraggio *in situ* delle strutture. Il sistema è stato testato in tre diversi casi di studio in Toscana.

1 Introduzione

Il deterioramento strutturale del patrimonio architettonico è un problema annoso. Per quanto riguarda il monitoraggio e la misurazione di ammaloramenti quali crepe, fessure e distacchi, l'ispezione visiva è la tecnica più utilizzata al giorno d'oggi per rilevare i danni o per valutarne le loro variazioni. Tuttavia, tale tecnica può essere poco efficiente a causa dell'ingente impegno di tempo e risorse, oppure addirittura inattuabile se l'accesso all'area di interesse è impervio o vietato per ragioni di sicurezza. D'altra parte, lo sviluppo di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) o autonomi consente di estendere l'ispezione visiva anche alle zone non direttamente accessibili, offrendo la possibilità di un monitoraggio più frequente e costante del costruito storico. In questo contesto l'introduzione di algoritmi di visione artificiale risulta importante per due aspetti: da un lato permette di ottenere misure quantitative mediante l'elaborazione delle immagini e dei flussi video acquisiti da droni, dall'altro permette di automatizzare le procedure di ispezione riducendo i tempi di esecuzione e garantendo una migliore riproducibilità.

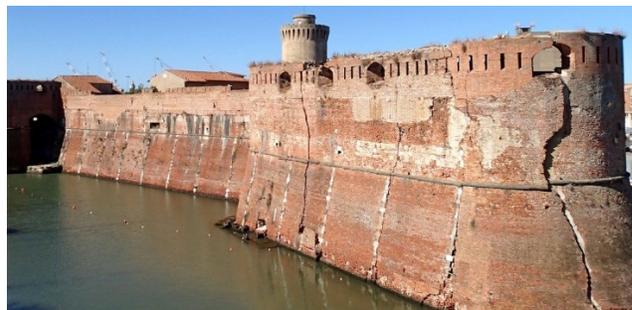


Figura 1: La Fortezza Vecchia di Livorno. Si apprezza una evidente lesione nell'area del Bastione della Capitana.

Nell'ambito del Progetto PAR FAS Moscardo¹, è stata proposta una soluzione completa per il monitoraggio di edifici storici e monumentali. La soluzione integra competenze e metodologie della scienza e della tecnica delle costruzioni con tecnologie del settore ICT (tra cui reti di sensori wireless, visione artificiale, fotogrammetria e impiego di droni) per l'analisi modale operativa e l'analisi strutturale. Il sistema Moscardo permette di verificare in qualunque momento e da qualunque luogo lo stato di salute, andando nello stesso tempo a raccogliere grandi quantità di dati per vigilare in modo permanente sulla struttura esaminata, così da consentire previsioni complesse per intervenire tempestivamente in caso di necessità. La soluzione è stata sperimentata su tre siti di interesse: la Fortezza Vecchia e il Voltone a Livorno e la Torre Grossa di San Gimignano. In questo contributo, ci si concentra sugli aspetti di visione artificiale e fotogrammetria impiegati per la realizzazione del sistema Moscardo.

2 Monitoraggio di lesioni mediante fotogrammetria

Il monitoraggio delle dimensioni di crepe e lesioni è di importanza per comprendere e identificare precocemente l'insorgere di instabilità strutturali. I tre casi di studio presi in considerazione presentano quadri fessurativi complessi che possono beneficiare di un'attenta e costante osservazione. Ad esempio, le mura della Fortezza Vecchia (Figura 1) sono difficili da monitorare perché la struttura è parzialmente circondata

¹<http://www.moscardo.it/>

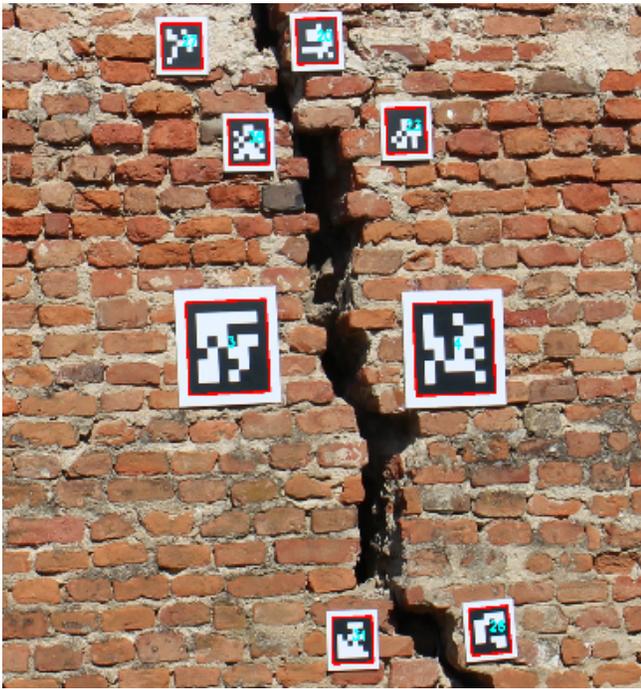


Figura 2: Configurazione dei marker per il monitoraggio della lesione

dal mare. Una caratteristica molto importante della maggior parte delle fessure lungo le pareti della Fortezza è che i loro lati sono piuttosto distanti e non sono complanari. Ciò rende difficile ottenere una misurazione assoluta e accurata degli scostamenti mediante metodi standard. Per questo tipo di ammaloramenti aventi irregolarità intrinseche e soggetti ad agenti ambientali, a cambiamenti stagionali e al variare della vegetazione, la qualità di una ricostruzione puramente fotogrammetrica potrebbe non essere sufficiente per uno studio longitudinale sul medio-lungo periodo. Si è quindi optato per l'utilizzo di markers in modo da identificare in maniera robusta un insieme di punti fiduciali su entrambe i lati delle lesioni e di tracciare nel tempo i loro spostamenti relativi in 3D [Germanese *et al.*, 2018b]. La tecnica è minimamente invasiva e consente di raggiungere un'elevata precisione quando si esegue un'analisi quantitativa della fessura (Figura 2). Può essere inoltre utilizzata su SAPR, andando ad elaborare le immagini a bordo velivolo o su un'opportuna stazione a terra. In questo modo si ottiene un'acquisizione dei dati veloce e altamente ripetibile, anche in zone difficili da raggiungere, riducendo costi e rischi.

3 Front-end di realtà virtuale

I dati sui quadri fessurativi raccolti mediante i metodi descritti nella Sezione 2 possono essere visualizzati e confrontati mediante un front-end di realtà virtuale, che permette di osservare contestualmente i dati raccolti da una rete di sensori di varia natura (tra cui accelerometri, estensimetri e termometri) installata sulla struttura monitorata. Il front-end (Figura 3) è stato realizzato procedendo ad una ricostruzione fotogrammetrica (Figura 4) della struttura utilizzando le immagini



Figura 3: Front end di realtà virtuale per il monitoraggio dei dati raccolti mediante rete di sensori wireless e drone



Figura 4: Ricostruzione 3D della Fortezza Vecchia di Livorno

raccolte mediante SAPR. Il modello ottenuto è stato quindi inserito in una applicazione Unity² fruibile sia sulla ground station del drone sia da web mediante un comune browser [Germanese *et al.*, 2018a; Germanese *et al.*, 2019].

4 Sviluppi futuri

Il monitoraggio delle strutture è ancora in corso con una campagna di misure sul lungo periodo che permetterà di valutare appieno l'efficacia e l'accuratezza dei metodi proposti, così come la loro ergonomia nell'uso quotidiano da parte dei gestori dei beni architettonici.

Riferimenti bibliografici

- [Germanese *et al.*, 2018a] Danila Germanese, Giuseppe Riccardo Leone, Davide Moroni, Maria Antonietta Pascali, e Marco Tampucci. Long-term monitoring of crack patterns in historic structures using uavs and planar markers: A preliminary study. *J. Imaging*, 4(99), 2018.
- [Germanese *et al.*, 2018b] Danila Germanese, Giuseppe Riccardo Leone, Davide Moroni, Maria Antonietta Pascali, e Marco Tampucci. Towards structural monitoring and 3d documentation of architectural heritage using uav. In *International Conference on Multimedia and Network Information System*, pages 332–342. Springer, 2018.
- [Germanese *et al.*, 2019] Danila Germanese, Maria Antonietta Pascali, Andrea Berton, Giuseppe Riccardo Leone, Davide Moroni, Bushra Jalil, Marco Tampucci, e Antonio Benassi. Architectural heritage: 3d documentation and structural monitoring using uav. In *VIPERC 2019 Visual Pattern Extraction and Recognition for Cultural Heritage Understanding*, pages 1–12, 2019.

²<https://unity3d.com/>