



CONVEGNO FABRE
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



L'utilizzo di droni nelle ispezioni di ponti e viadotti e potenzialità di modelli BIM e Digital Twins

A. Di Pietro^a, C. Ormando^b, S. Giovinazzi^a, M. Pollino^a, V. Rosato^a, P. Clemente^a

^a ENEA, C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Roma, Italy e EISAC.it

^b Università di Tor Vergata., Via Politecnico 1, 00133 Roma, Italy

Keywords: Ispezioni, Droni, Modelli digitali, Ponti, Viadotti.

ABSTRACT

L'utilizzo dei droni permette di superare l'impiego di sistemi tradizionali quali snooper o by bridge che richiedono costi elevati e comportano limitazioni alle carreggiate dei tratti da ispezionare, problematiche di sicurezza degli operatori e difficoltà nel raggiungere i luoghi da monitorare. L'impiego dei droni infatti, permette di abbassare il rischio delle operazioni, incrementa il livello di accessibilità nei diversi punti e riduce notevolmente i costi. Inoltre, il loro impiego permette di produrre dei vantaggi aggiuntivi quali la produzione di filmati e immagini fotografiche ad alta risoluzione, nonché di effettuare analisi con termocamere o camere multispettrali per la identificazione delle diverse problematiche e di gestire le esigenze computazionali associate all'elaborazione delle grandi moli di dati prodotte da tali tecnologie. Il materiale video e fotografico realizzato con il drone può essere utile per sviluppare modelli 3D point cloud delle strutture.

1 INTRODUZIONE

Le Linee guida per la valutazione e il monitoraggio di ponti e viadotti prevedono un approccio su cinque livelli. Geolocalizzazione e censimento sono al primo livello, detto livello 0 a significare che si tratta di una conditio-sine-qua-non: la conoscenza dell'opera, ossia la sua localizzazione, la tipologia, i materiali, i vincoli rappresentano il punto di partenza.

Al livello 1, ci sono le ispezioni, a seguito delle quali si compilano le schede di difettosità, che completano la conoscenza dell'opera, aggiornando i dati al suo stato attuale. Censimento e ispezioni devono consentire di giungere alla valutazione semplificata di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, al fine di definire la classe di attenzione (CdA), che rappresenta il livello 2.

Le ispezioni visive tradizionali, comunque da ritenersi uno strumento non sostituibile al momento, presentano diverse problematiche, di seguito esposte.

Non sempre l'opera è accessibile nelle sue varie parti, ossia spalle, pile, impalcati, appoggi, come nei seguenti casi:

- presenza di vegetazione che può rendere difficoltosa l'osservazione dell'intera opera o di sue parti,
- presenza di una linea ferroviaria sovrappassata dal ponte, che rende l'accesso limitato,
- ponte che supera un corso d'acqua.

I vari difetti possono non risultare facilmente visibili, a causa di:

- difficile accesso ai dettagli,
- scarsa luminosità e visibilità,
- difficoltà nello scattare fotografie utilizzabili.

Le tecniche tradizionali di ispezione visiva possono essere classificate in tecniche di accesso dal basso e dall'alto. Nel primo caso si utilizza un cestello per ispezionare spalle, pile, appoggi e intradosso degli impalcati. L'accesso dal basso è possibile solo se l'ente scavalcato è accessibile, per esempio una valle, e se il ponte non è troppo

alto (pile di oltre 20-30 m, come in [Figura 1](#)); non è possibile per ponti in acqua (fiumi, laghi, ..). L'accesso dal basso è comunque indispensabile per ispezionare le parti inferiori di pile e spalle.

L'alternativa è l'accesso dall'alto, ossia dal piano viario per mezzo di un by bridge e consente l'ispezione dell'intradosso degli impalcati, della sommità di pile e spalle e degli appoggi ([Figura 2](#)). L'accesso dall'alto richiede l'interruzione o la limitazione del traffico, con ovvii disagi e costi notevoli (> 1000 €/giorno), oltre al pericolo connesso, ma soprattutto tempi lunghi per l'organizzazione, l'accesso e la sistemazione sull'opera oltre all'ispezione.

Una valida alternativa che si sta diffondendo sempre più è l'utilizzo di droni, o sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) ([Figura 3](#)). Il volo di un drone viene controllato in remoto da un pilota umano, che può operare "a vista" oppure in modalità BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) ovvero in modalità priva di contatto visivo.

Si tratta di una tecnologia molto recente, con diffusione elevata dal 2010, che trova impiego in molti campi tra cui il monitoraggio di infrastrutture.



Figura 1. L'accesso dal basso non è possibile nel caso di pile molto alte.



Figura 2. Accesso dall'alto mediante by bridge.

2 UTILIZZO DEI DRONI NEI PONTI

L'uso del drone permette di superare i limiti degli approcci tradizionali:

- consente l'accessibilità a parti dell'opera anche lontane dall'operatore o impervie per l'invio di immagini,
- determina un rischio limitato: non è necessario porre i tecnici in condizione di grave rischio per la loro incolumità,
- consente di avvicinarsi molto al difetto da osservare e fotografare,
- ha tempi e costi altamente competitivi rispetto alle tecniche tradizionali,
- consente anche l'analisi con termocamere o camere multispettrali per evidenziare problematiche come infiltrazioni d'acqua, o fenomeni di delaminazione,
- consente la produzione di immagini fotografiche ad alta risoluzione (utili per produrre ortofoto), filmati, modelli 3D parametrici.



Figura 3. Un drone.

L'impiego di questa tecnologia è subordinato ad aspetti burocratici, quali:

- l'obbligo di richiedere una autorizzazione al volo ad ENAC nelle aree con restrizioni allo spazio aereo (Circolare ENAC ATM-03C);
- l'obbligo di polizza assicurativa a responsabilità civile per danni verso terzi prevista dal regolamento EASA
- l'obbligo di iscrizione dell'operatore;

Inoltre, non mancano problematiche legate all'utilizzo e che potrebbero precludere il volo del drone, legate alla presenza di:

- condizioni ambientali sfavorevoli, quali vento e pioggia;
- ostacoli, quali cavi elettrici, alberi e vegetazione;
- interferenze elettromagnetiche.

3 ALCUNI ESEMPI NOTEVOLI

Si riportano di seguito alcuni esempi di recenti esperienze dell'ENEA nell'ambito di attività svolte per il Consorzio Fabre, in cui l'impiego dei droni ha svolto un ruolo cruciale per il miglioramento della conoscenza delle opere ispezionate e del loro contesto.

3.1 Valutazione del contesto geomorfologico

Uno dei principali vantaggi è senz'altro la possibilità di eseguire riprese video, da poter seguire sia in diretta su un grande schermo sia in seguito, oltre che a fotografie, scattate da vari punti di vista con scopi diversi.

La [figura 4](#) è relativa a un ponte che aveva mostrato segni di cedimenti delle spalle nelle ispezioni di dettaglio. La fotografia dall'alto ha consentito di aver un quadro del contesto geomorfologico nel quale insiste l'opera e di individuare le fonti di pericolo da frana e i possibili movimenti.



Figura 4. Quadro del contesto geomorfologico.

La valutazione del contesto geomorfologico è l'obiettivo anche dell'immagine di [figura 5](#). Il ponte oggetto dell'ispezione scavalca una fiumara in prossimità della foce ed è situato su depositi a tessitura sabbioso-ghiaiosa di origine marina, attualmente fissati dalla vegetazione. La fiumara sta subendo un forte ringiovanimento, dovuto al sollevamento tettonico dell'area, che ha dato luogo ad alvei molto incassati sui quali affacciano pendii molto acclivi. A circa 350 m ad dal ponte si nota una profonda incisione prodotta dalla fiumara nei terrazzi marini. Tale osservazione ha consentito di ipotizzare che i materiali sciolti o poco consolidati lungo il corso della fiumara potrebbero, in condizioni meteo estreme, dare luogo a colate rapide di materiale che nelle valli incassate possono percorrere anche diversi Km, in funzione della magnitudo del fenomeno. Si tratta di fenomeni molto veloci, dell'ordine di decine di km/h, che possono trasportare a valle anche grossi frammenti di roccia, tronchi, ecc. La loro energia è tale da creare danni importanti anche a strutture apparentemente solide come il ponte in esame. Va comunque osservato che non sono segnalati lungo il corso della fiumara fenomeni di instabilità.



Figura 5. Tipico caso di fiumara che ha inciso i terrazzi marini.

3.2 Individuazione o verifica di cedimenti e spostamenti

Nel ponte a unica campata semplicemente appoggiata delle [figure 6 e 7](#), l'ispezione aveva evidenziato uno spostamento con rotazione di una delle due spalle, che spinge visibilmente l'impalcato, col quale è arrivata al contatto, annullando il franco esistente. Nella [figura 6](#) si nota addirittura la compenetrazione dell'impalcato nel paraghiaia.



Figura 6. Compenetrazione della travata nel paraghiaia.



Figura 7. Scorrimento del vincolo, con perdita di appoggio.

In [figura 7](#) si nota lo scorrimento dell'apparecchio di appoggio con perdita di almeno un terzo della superficie di appoggio.

Le immagini video e le numerose fotografie scattate dall'alto hanno confermato con evidenza la presenza di una rotazione dell'impalcato rispetto alla spalla di sinistra, conseguente al movimento della stessa, che ha causato la perdita di allineamento dell'impalcato stesso con le zone di approccio al ponte ([Figura 8](#)).



Figura 8. Conferma della presenza di uno spostamento con rotazione di una spalla e dell'impalcato.

3.3 Valutazione di dettagli

Per il viadotto in [figura 9](#), su due luci con pila centrale, l'ispezione è stata eseguita a vista dal basso, senza cestello. Non è stato possibile, però, in tal modo visionare gli appoggi sulla pila ([Figura 10](#)).



Figura 9. Viadotto a due luci, ispezionabile nella sua interezza ad eccezione degli appoggi sulla pila centrale.

Il drone ha consentito di completare l'ispezione in tempi molto rapidi e senza costi aggiuntivi, raggiungendo facilmente la sommità della pila, valutando facilmente e efficacemente le condizioni degli appoggi.

3.4 Viadotti di grandi dimensioni

Le ispezioni sono spesso rallentate dalle dimensioni dell'opera che richiede spostamenti a piedi, a volte su terreni accidentati. Quindi, anche

laddove l'altezza dell'impalcato non ne impedisce una efficace visione dal basso, il lavoro di ispezione è lungo e, a volte, con risultati non soddisfacenti. Il viadotto di [figura 11](#), a travata Gerber tipo Niagara, ha una lunghezza complessiva di 250 m, con luce centrale di 100 m circa, un impalcato in sistema misto acciaio-calcestruzzo. La struttura appare ripetitiva ma presenta punti delicati, come le due selle Gerber.



Figura 10. Pila centrale del viadotto di figura 9.

L'ispezione dettagliata avrebbe richiesto alcuni giorni di lavoro in sito, mentre con l'ausilio di droni è stata sufficiente meno di una giornata e, cosa da non trascurare, è stato possibile tornare sulle immagini video e sulle fotografie scattate, in caso di eventuali dubbi.



Figura 11. Vista d'insieme di un ponte di notevoli dimensioni.

4 BIM E DIGITAL TWIN

L'uso del drone consente di realizzare la fotogrammetria, ottenendo ortofoto ad altissima risoluzione e, quindi, ottenere i dati metrici di una

struttura, mediante l'analisi di coppie di fotogrammi stereometrici acquisiti. L'aerofotogrammetria con drone può essere alla base della modellazione 3D point-cloud che può essere poi utilizzata per realizzare modelli BIM (Building Information Modeling), per poi sviluppare, da questi, modelli FEM (Finite Element Models) e Digital Twins.

È ovvio che le informazioni sulla geometria esterna, sia ai fini del BIM che del Digital Twin, devono essere integrate da informazioni sulle parti non visibili (ad esempio, le armature per un ponte in c.a.) per procedere ad una valutazione accurata.

Com'è noto, il Building Information Modeling (BIM) consiste nel creare e gestire le informazioni relative a una costruzione, integrando dati strutturati multidisciplinari e fornendo una rappresentazione digitale durante tutto il suo ciclo di vita: pianificazione, progettazione, costruzione e messa in funzione, demolizione e dismissione.

Il BIM, basato su un modello intelligente e supportato da una piattaforma cloud, consente la condivisione delle informazioni in possesso, favorendo l'interazione tra i vari attori già nella fase di progetto e contiene numerosi dati relativi a tutte le informazioni sulla costruzione (quali localizzazione, geometria, proprietà dei materiali e degli impianti, le fasi costruttive, di manutenzione e di smaltimento di fine ciclo), ma anche su ogni suo componente.

Il Digital Twin o gemello digitale è una rappresentazione virtuale di una costruzione, che funge da controparte digitale in tempo reale di un oggetto, in questo caso un ponte o un viadotto. Il Digital Twin viene aggiornato mediante i dati provenienti da sensori collocati sul gemello reale, opportunamente elaborati.

La copia virtuale, acquisiti tali dati, consente di validare simulazioni numeriche utili per studiare più processi e valutare la condizione dell'opera, e per prevedere scenari di comportamento e prestazioni e studiare possibili miglioramenti da applicare sull'opera reale.

Si tratta, quindi, di un flusso di informazioni bidirezionale: i sensori disposti sul ponte forniscono dati rilevanti al processore di sistema e le informazioni dettagliate create dal processore vengono condivise con il ponte reale. Con dati costantemente aggiornati relativi a un'ampia gamma di aree e grazie ad una potenza di calcolo notevole, un Digital Twin è in grado di studiare più problemi da diversi punti di vista, con una maggiore possibilità di migliorare prodotti e processi.

In entrambi i casi, il contributo del drone può essere fondamentale, specie nel campo di ponti e viadotti. A tal proposito, una metodologia per

eseguire le prime 3 fasi previste dalle LG2020 e che conducono alla definizione della classe di attenzione di un ponte, potrebbe svilupparsi attraverso le fasi chiave:

- 1) Censimento mediante raccolta dati disponibili e eventuale rilievo geometrico-strutturale dell'opera; questa fase ha anche l'obiettivo di poter ottimizzare il percorso ricognitivo del drone e di preparare i dati da introdurre all'interno del sistema BIM;
- 2) Ispezione visiva con l'ausilio di droni, secondo le informazioni ricavate nella fase 1, identificazione e valutazione dei danni;
- 3) Messa a punto, con l'ausilio dei dati acquisiti nella fase 1, di un modello BIM, in grado di offrire una registrazione permanente della geometria del ponte nei suoi singoli elementi, e che includa l'eventuale presenza di difetti, consentendo una valutazione dell'opera nel suo status quo;
- 4) Messa a punto di un modello Digital Twin per il monitoraggio intelligente e la previsione di processi degenerativi.

5 CONCLUSIONI

Le ispezioni di ponti e viadotti sono tuttora legate all'esame visivo di tecnici qualificati e alla trascrizione su formati di vario tipo delle informazioni ricavate. Al momento le ispezioni visive restano di fondamentale importanza ma con l'ausilio dei droni possono essere limitate alle zone di maggior necessità, con notevole risparmio di tempo e contenimento dei costi.

Un corretto utilizzo del drone, consente di ottenere riprese video e/o fotografiche ad alta risoluzione che, oltre a consentire la valutazione immediata dell'opera, potranno essere visionate anche a distanza di tempo per confronti e valutazioni di trend.

Nei casi di studio illustrati, i droni hanno consentito:

- la valutazione del contesto geomorfologico, con riprese dall'alto,
- l'individuazione o la verifica della presenza di cedimenti e spostamenti,
- la valutazione di dettagli non raggiungibili con mezzi rudimentali, come gli appoggi su pile intermedie di una certa altezza,
- l'ispezione di ponti di grandi dimensioni in tempi brevi.

Un utilizzo più avanzato, porta alla realizzazione di ortofoto per la messa a punto di un Digital Twin che consente di avere sempre a

disposizione un modello per valutare lo stato di salute di un'opera.

BIBLIOGRAFIA

- Blaso L., Clemente P., Giovinazzi S., Giuliani G., Gozo N., Ormando C., Pollino M., Rosato V. 2022. Towards Standardized and Interoperable Platforms for supporting the Seismic Vulnerability Assessment and Seismic Monitoring of Italian Bridges and Viaducts. In: Pellegrino C. et al. (eds) *Proc. of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures* (EUROSTRUCT 2021, 29 Aug – 1 Sep 2021, Padua), Lecture Notes in Civil Engineering, Vol 200, 471-480. Springer, Cham, (on line 12 Dec 2021), https://doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4_54.
- Bongiovanni G., Cellilli A., Clemente P., Giovinazzi S., Ormando C. 2021. Seismic response of a r.c. viaduct during different earthquakes. In: Cunha A., Caetano E. (eds), *Proc. 10th Int. Conf. on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure* (SHMII-10, 30 June – 2 July 2021, Porto), ABS_247.
- Candigliota E., Clemente P., Immordino F. 2020. Recenti sviluppi nel monitoraggio statico e dinamico di ponti e viadotti. *INGENIO*, <https://www.ingenio-web.it/> (on line 15.10.2020).
- Clemente P. 2018. I ponti: monumento al progresso. *INGENIO, Speciale Ponte Morandi*, <https://www.ingenio-web.it/> (on line 26.08.2018).
- Clemente P. 2019. L'isolamento sismico nei ponti: criteri di progetto e applicazioni. *INGENIO, Dossier Progettare la sicurezza e la durabilità delle infrastrutture*, <https://www.ingenio-web.it/> (on line 24.10.2019)
- Clemente P. 2020. Monitoring and evaluation of bridges. Lessons from the Polcevera Viaduct collapse in Italy. *J. Civil Structural Health Monitoring*, Springer, Vol. 10, No. 2, 177-182, (on line 17 Feb 2020), <https://doi.org/10.1007/s13349-020-00384-6>.
- Clemente P. 2020. Monitoraggio, valutazione e adeguamento dei ponti esistenti. *L'Ufficio Tecnico*, N. 5, 42-57, Maggioli Editore.
- Clemente P. 2020. The collapse of the bridge on the Magra river at Albiano, Italy. *The Monitor*, Summer 2020, ISHMII, <https://ishmii.org/the-monitor/>.
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G., Saitta F. 2019. Structural health status assessment of a cable-stayed bridge by means of experimental vibration analysis. *J. of Civil Structural Health Monitoring*, Springer, Vol. 9, No. 5, 655-669, (on line 11 Oct 2019), <https://doi.org/10.1007/s13349-019-00359-2>.
- Clemente P., Ormando C., 2021. Monitoring system of the San Giorgio bridge at Genoa, Italy. *The Monitor*, Winter 2021, ISHMII, <https://ishmii.org/the-monitor/>.
- Clemente P., Saitta F.. 2017. Analysis of no-tension material arch bridges with finite compression strength. *J. of Structural Engineering*, Vol. 143, No. 1, ASCE, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001627](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001627).
- Giovinazzi S., Pollino M., Rosato V., Clemente P., Buffarini G., La Porta L., Di Pietro A., Ciarallo F., Lombardi M. 2019. A decision support system for the emergency management of highways in the event of earthquakes. *Atti del XVIII Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia"* (Ascoli Piceno, 15-19 set), SS05-101, No. 3762, ANIDIS, Roma.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2020. Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti. MIT, D.M. 578 del 17/12/2020.
- Ormando C., Ianniruberto U., Clemente P., Giovinazzi S., Pollino M., Rosato V. 2021. Real-time assessment of performance indicators for bridges to support road network management in the aftermaths of earthquake events. In Papadrakakis M., Fragiadakis M. (eds.), *Proc. of the 8th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* (COMPDYN 2021, 27-30 June 2021, Streamed from Athens, Greece), Vol 2, 3536-3550, NTUA, Athens, Greece, ISBN (set): 978-618-85072-5-8, ISBN (vol II): 978-618-85072-4-1, <https://doi.org/10.7712/120121.8728.19414>.
- Ormando C., Raeisi F., Clemente P., Mufti A. 2022. The SHM as higher level inspection in the evaluation of structures. In: Pellegrino C. et al. (eds) *Proc. of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures* (EUROSTRUCT 2021, 29 Aug – 1 Sep 2021, Padua), Lecture Notes in Civil Engineering, Vol 200, 452-461. Springer, Cham, (on line 12 Dec 2021), https://doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4_52.
- Scafati F., Clemente P. 2021. Dispositivi di vincolo e antisismici nei ponti. Progetto, manutenzione, sostituzione. *INGENIO*, <https://www.ingenio-web.it/> (on line 15.04.2021).