

Procedura per la conduzione dell'esame di strutture sviluppate in altezza con l'uso di Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

F. Giacobbe, G. Asaro, R. Balistreri, G. Augugliaro, E. Artenio, O. Zirilli, A. Berton, T. Mullano, A. Gabbia

L'esame visivo è un metodo di ispezione, codificato come controllo non distruttivo (CND), che permette di effettuare la valutazione dell'eventuale stato di degrado superficiale di attrezzature ed impianti. Nei casi di strutture, caratterizzate da uno sviluppo in altezza, sorge dunque l'esigenza di utilizzare ponteggi o strutture aeree sollevabili, per poter accedere in sicurezza agli elementi oggetto di ispezione. Tali soluzioni richiedono costi e tempi tecnici di posa in opera significativi. Lo sviluppo tecnologico degli Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), noti anche come droni, permette di ottenere ad oggi rilevanti risultati. Si ottimizzano infatti i tempi, i costi e le condizioni di sicurezza senza condizionare il livello qualitativo dell'ispezione. L'indagine permette di gestire in modo efficace e veloce una propedeutica analisi, individuando le superfici e i particolari che necessitano di successivi puntuali e specifici ulteriori controlli. Gli UAVs per poter svolgere queste attività devono essere corredati di appositi accessori che permettono l'acquisizione e registrazione di immagini ad alta risoluzione. L'esame visivo pertanto risulta effettuato in modalità "assistito" a seguito dell'impiego di videocamere che operano nella banda del visibile e/o dell'infrarosso. Una utile ed ulteriore tecnologia è il LiDAR (Light Detection And Ranging) che permette di restituire informazioni tridimensionali ad alta risoluzione sull'ambiente circostante. Questa nuova metodica di ispezione condotta con dispositivi di registrazione in HD offre, nei casi di rilievi in quota, un esame delle superfici con un soddisfacente livello di risoluzione dei dettagli.

PAROLE CHIAVE: ESAME VISIVO, UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS), DRONE, ISPEZIONE SUPERFICIALE, VELIVOLO AEREO SENZA PILOTA, CORROSIONE, CONTROLLI NON DISTRUTTIVI (CND), ATTREZZATURE DI LAVORO, SISTEMA AEROMOBILE A PILOTAGGIO REMOTO, DEGRADO VERNICIATURA

Risulta relativamente agevole rilevare e valutare condizioni di degrado (ad esempio lo stato di efficienza della verniciatura di protezione, dell'eventuale presenza e localizzazione di processi di corrosione generalizzata o cedimenti/distacchi/perdite negli accoppiamenti, ecc.). Tenendo conto delle suddette importanti potenzialità, emerge la necessità di definire e colmare un vuoto metodologico con la definizione di una procedura che indichi le modalità di conduzione delle attività ispettive. Tale documento ha lo scopo di proporre una buona prassi operativa per analizzare in forma preventiva i rischi ai fini della sicurezza collegati al volo in funzione dei diversi scenari oggetto di intervento. La standardizzazione delle modalità di conduzione dell'esame visivo comporta vantaggi favorevoli in termini di uniformità, confronto e robustezza dei risultati offrendo agli

F. Giacobbe, G. Asaro, R. Balistreri,
G. Augugliaro, E. Artenio

INAIL

O. Zirilli, A. Berton
CNR Area della Ricerca di Pisa

T. Mullano
Nexta; A. Gabbia - Saras

operatori del settore e alla committenza una linea guida di riferimento. Il documento in particolare prende in esame le fasi dello studio preventivo del piano di volo, le caratteristiche e la scelta degli accessori da utilizzare nonché le valutazioni del rischio correlate alle attività di ispezione. Nella presente memoria oltre alla struttura e ai contenuti della procedura viene presentato un caso studio sviluppato applicando tale metodica nel caso di attrezzatura di lavoro.

INTRODUZIONE

L'uso degli UAVs per le indagini e le ispezioni hanno assunto livelli di elevata significatività, estendendo l'applicazione a molteplici contesti industriali. Svitati sono gli esempi di campi di applicazione:

- Ispezioni nel campo del visivo e dell'infrarosso di attrezzature di lavoro;
- Ispezioni di componenti strutturali metallici ed in cemento armato quali pilastri, pareti, tralicci, strutture reticolari, ecc.;
- Georeferenziazione, rendering e modellazione 3D, ortofoto per cartografia;
- Telerilevamento con telecamera multispettrale.

Le suddette molteplici soluzioni innovative offrono soluzioni tecnicamente avanzate con costi relativamente accessibili.

Di seguito sono riportati i punti di forza e di debolezza relativi all'utilizzo degli UAS (Unmanned Aerial System) per le attività di monitoraggio e ispezione.

vantaggi:

- Ridotte dimensioni dei velivoli con conseguente facilità di trasporto;
- Riduzione di tempi e costi ed un miglioramento delle condizioni di sicurezza;
- Flessibilità e riproducibilità delle operazioni;
- Contatto diretto con il componente in esame non richiesto;
- Buona risoluzione dei dati;
- Nessuna infrastruttura necessaria per le operazioni;
- Conduzione delle attività con impianti e strutture in marcia;

svantaggi:

- Risultati non soddisfacenti in caso di condizioni meteo avverse o in presenza di limitata o eccessiva lumi-

nosità;

- Limitazione del peso e delle dimensioni del carico (ad esempio videocamera, ecc.);
- Possibilità di sovratemperatura del motore sotto eccessivo e prolungato sforzo;
- Durata della batteria limitata.

PROCEDURA OPERATIVA

L'obiettivo degli autori della presente memoria è di elaborare una procedura avente la finalità di fornire indicazioni operative utili per l'esecuzione dell'esame visivo delle superfici esterne di attrezzature, componenti e impianti outdoor per valutarne lo stato di conservazione, con l'ausilio di un UAS.

Le figure professionali coinvolte nelle attività ispettive sono diverse, ciascuna con mansioni, competenze e responsabilità ben definite. Si distinguono gli addetti al pilotaggio del drone UAV, ovvero i piloti, e il personale qualificato per le valutazioni dell'esame visivo. Talvolta queste figure possono essere ricoperte da stessa persona.

Il personale addetto al pilotaggio dell'UAV ha la responsabilità di:

- pilotare l'aeromobile impiegato per effettuare l'esame visivo;
- Analizzare, in fase di prevolo, l'apparecchiatura da ispezionare avendo cura di studiare il disegno costruttivo e verificare che il volo del drone sia effettuato in sicurezza, in rispetto alle prescrizioni ENAC/EASA;
- eseguire le manovre secondo le indicazioni ricevute dal personale addetto all'esecuzione dell'esame visivo, in rispetto alle prescrizioni ENAC/EASA.

Il personale addetto alla valutazione dell'esame visivo deve possedere requisiti conformi a quanto richiesto dalle disposizioni di legge, norme, standard di prodotto, regole tecniche, codici o specifiche tecniche applicabili al contesto applicativo.

Inoltre tale personale deve:

- essere dotato di una idonea capacità visiva (rif. UNI EN ISO 9712);
- essere qualificato allo scopo (rif. UNI EN ISO 9712);
- essere a conoscenza delle procedure di fabbricazione utilizzate, nonché della funzione e delle condizioni operative dell'attrezzatura a pressione;
- disporre le indicazioni al personale addetto al pilotaggio dell'UAS;

- analizzare i dati acquisiti dal UAS;
- effettuare una valutazione oggettiva delle caratteristiche e/o anomalie in base a specifici parametri;
- verbalizzare l'esito dell'esame eseguito (da spostare nel paragrafo sulle attività da svolgere).

Operativamente è prevista una fase preliminare dove si individuano le figure professionali coinvolte nel processo di ispezione che dovranno concordare gli obiettivi dell'attività di ispezione, le condizioni impiantistiche che concorrono ad una ottimale riuscita dell'ispezione, o che possano limitarla o condizionarla. Inoltre è imprescindibile, per la scelta appropriata dell'UAS e del sistema di cattura di immagini e video, l'esame delle specifiche tecniche, ovvero dei disegni generali e di dettaglio, elementi e componenti, vista planimetrica, della eventuale presenza di infrastrutture e ostacoli nelle adiacenze.

Si dovrà tener conto delle necessarie autorizzazioni previste a cura degli enti preposti e si dovranno esaminare le ulteriori informazioni utili quali ad esempio rapporti di precedenti esami visivi o di altri controlli non distruttivi.

Un fondamentale aspetto per un'efficace gestione della sicurezza del processo ispettivo riguarda l'individuazione e la valutazione dei rischi. Nello specifico, nel corso delle operazioni di volo possono manifestarsi condizioni di pericolo che devono essere opportunamente determinate al fine di effettuare un'attenta e dedicata valutazione del rischio a tutela del personale coinvolto presente nell'area interessata. Si precisa che è propedeutico e significativo il rispetto delle indicazioni e prescrizioni presenti nel libretto d'uso dell'UAV nonché delle regolamentazioni vigenti (es. ENAC, ecc) per singolo caso.

A carattere puramente indicativo si elencano alcune possibili condizioni di pericolo correlate al volo dell'UAV:

- impatto con ostacoli con proiezione incontrollata di materiale;
- collisione con elementi critici (es. cavi elettrici, vetrate, materiale infiammabile o tossico, ecc.);
- collisione con il personale presente nel sito;
- proiezione di polveri e corpuscoli.

Prima delle operazioni di volo è raccomandato effettuare in forma propedeutica l'analisi in situ per l'individuazione delle aree di decollo e atterraggio, l'individuazione di eventuali altre possibili condizioni di pericolo che possano inficiare il volo ispettivo (ad esempio: ostacoli fissi che

limitano il contatto visivo diretto operatore-UAS), la definizione delle aree dove possono eventualmente sostare ulteriori persone non direttamente coinvolte nell'attività ispettiva. In questa fase, si esaminano inoltre le informazioni meteo aggiornate e le eventuali interferenze con le attività lavorative presenti nelle adiacenze dell'area di ispezione opportunamente delimitata, nonché la verifica dello stato di ricarica delle batterie, efficienza dei comandi in remoto e della qualità del segnale satellitare, qualora si voli in modalità GPS. Viene altresì effettuato un test di acquisizione di video ed immagini.

Durante il volo il pilota esegue:

- il monitoraggio continuo dell'autonomia residua di volo per garantire in sicurezza il ritorno del UAV;
- il monitoraggio dei parametri UAV (funzionalità drone);
- la predisposizione di un atterraggio "di emergenza", verificare lo stato funzionale del UAS ed eventualmente interrompere la missione;
- Il monitoraggio continuo dell'evoluzione delle condizioni meteo.

Concluse le attività, tenuto conto dell'autonomia della batteria, si procede con uno stazionamento a 1m da terra (hovering) con finalità di verifica del comportamento del UAS all'atterraggio.

Acquisite le informazioni nella forma di immagini e video il personale qualificato CND procederà alle valutazioni di merito che possono essere sintetizzate:

- Non sono rivelate indicazioni.
- Indicazioni che non richiedono interventi. L'indicazione è assolutamente irrilevante ai fini della valutazione del rischio o ha caratteristiche tali da non evolvere, presumibilmente, verso condizioni di rischio significativo fino alla successiva ispezione programmata.
- Indicazioni che non richiedono interventi nell'immediato. L'indicazione può evolvere verso condizioni di rischio non trascurabili che non richiedono, comunque, interventi nell'immediato. È tuttavia obbligatorio il monitoraggio svolgendo specifiche ispezioni straordinarie anche eseguendo ulteriori controlli o particolari accertamenti con altri metodi PND.
- Indicazioni che richiedono interventi nell'immediato.

L'indicazione (difetto) può evolvere verso condizioni di rischio non trascurabili che richiedono interventi nell'immediato. È obbligatorio eseguire ulteriori controlli ed accertamenti con altri metodi PND. Può rendersi necessario la messa fuori servizio dell'attrezzatura,

del componente o elemento.

Il processo di ispezione comprende in sintesi quattro macro fasi come rappresentato in figura 1.

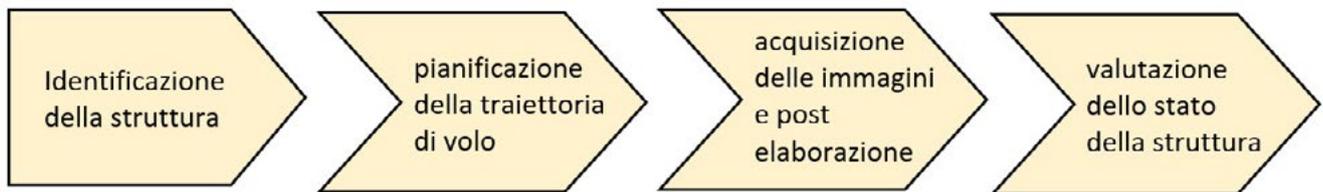


Fig.1 - Flusso di lavoro dell'ispezione con il supporto del drone.

CASO STUDIO

Nella presente memoria vengono riportate le considerazioni conseguenti all'ispezione visiva di una gru a torre installata in un cantiere edile.

L'apparecchiatura di sollevamento in oggetto è una gru a torre girevole con rotazione in alto anno di fabbricazione 2006. La gru a torre è di tipo automontante con torre telescopica, progettata secondo la norma tecnica DIN 15018 con classe di sollevamento H1 e Gruppo di sollecitazione B3. Lo studio riguarda la ralla girevole di rotazione, dove risultano fulcrati il braccio e la controfreccia, posta ad una quota di 17,5 m rispetto al suolo.

Dalla documentazione a corredo della macchina e dalle condizioni di esercizio effettive di valutano circa 2.500 cicli completi mediamente eseguiti per anno di funzionamento, per un totale di circa 40.000 cicli eseguiti nel corso dell'intera vita dell'apparecchiatura.

La sperimentazione mira ad evidenziare l'effettivo stato delle protezioni superficiali di verniciatura tramite visione delle immagini catturate da un drone dotato di videocamera 4K.

Nella tabella seguente si riportano le immagini registrate a tre diverse distanze di ripresa ovvero 10 m, 5 m e 2 m. Si evidenzia che anche ad una distanza di 10 m è possibile rilevare con un dettaglio apprezzabile, eseguendo un ingrandimento digitale compreso tra il 150% ed il 300%, le diverse zone che presentano alcune parti soggette ad un degrado della verniciatura superficiale a protezione della struttura metallica da fenomeni di corrosione. Le immagini riprese ad una distanza di 2 m permettono un'analisi più dettagliata consentendo il rilievo di anomalie dell'ordine di grandezza di 5 mm.

		distanza tra UAV e gru a torre		
		10 m	5 m	2 m
a				
		Dimensione file: 4,7 MP	Dimensione file: 4,8 MP	Dimensione file: 4,6 MP

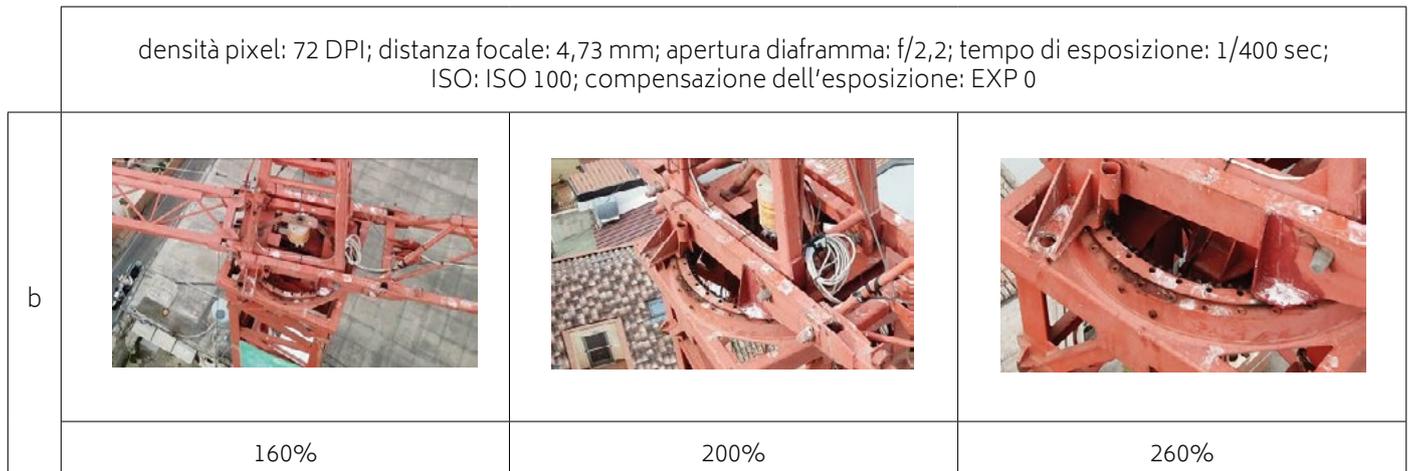


Fig.2 - Particolare della verniciatura di protezione della struttura metallica
a) immagine digitale con focale fissa 26 mm e risoluzione 3000x4000;
b) crop da ingrandimento

La sperimentazione ha evidenziato altresì l'opportunità di ispezionare parti dell'attrezzatura che non risultano essere visibili a quota zero e pertanto non visionabili anche con strumenti ottici di ingrandimento.

L'operatore qualificato, EN 9712 di II livello metodo VT, visionate le immagini ha espresso il seguente giudizio: "Indicazioni che non richiedono interventi" – La verniciatura di protezione è presente sulla quasi totalità della superficie ad esclusione di un'area circoscritta di forma allungata (dimensione 3 cm x 20 cm) in corrispondenza dei dadi di serraggio in direzione NE. L'indicazione ha caratteristiche tali da non evolvere, presumibilmente, verso condizioni di rischio significativo fino alla successiva ispezione programmata prevista tra 12 mesi tenuto conto che tali componenti sono soggetti a possibili fenomeni di degrado nel tempo a causa del guano depositato dagli uccelli e dalla salsedine marina.

CONCLUSIONI

L'uso dei droni, per le relative potenzialità, dovrebbe essere considerato come valido strumento di supporto per le ispezioni, al fine di migliorare la qualità dell'indagine conoscitiva in quanto permette di ottenere informazioni e dettagli che non possono essere determinati facilmente senza metodi di accesso costosi e talvolta con la necessaria l'interruzione del servizio. Questa tecnologia

può aiutare gli operatori addetti alle valutazioni dello stato di conservazione ed efficienza di attrezzature e nella pianificazione di eventuali interventi futuri per indagini di dettaglio.

In questo lavoro abbiamo presentato una procedura operativa per la conduzione dell'esame visivo indiretto che analizza i singoli processi e le singole fasi in successione temporale per ottenere risultati soddisfacenti nel caso di impiego di UAS per la conduzione dell'ispezione.

Le ispezioni condotte utilizzando tale tecnologia permettono di ottenere notevoli evidenze positive legate essenzialmente: alla possibilità di poter utilizzare rapidamente questi dispositivi, all'ottima manovrabilità e flessibilità di manovra e di accessibilità in quota, la possibilità di ridurre al minimo i costi legati alle operazioni, la mitigazione dei rischi operativi e valida qualità delle immagini.

Sebbene questo studio si riferisca principalmente all'uso di droni dotati di telecamere HD per l'ispezione visiva, altre opportunità potrebbero eventualmente evolversi per accoppiare sensori o telecamere a infrarossi o scanner 3D, per utilizzare tecniche di fotogrammetria digitale o anche per rendere possibile la raccolta e l'analisi di dati quantitativi (campi di spostamento e deformazioni) che sono essenziali per la valutazione dell'affidabilità delle strutture sotto osservazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Nooralishahi, Parham, et al., Drone-based non-destructive inspection of industrial sites: A review and case studies, Drones 5.4, 2021.
- [2] Hütten N., Meyes R., Meisen T., Vision Transformer in Industrial Visual Inspection, Applied Sciences, 12(23), 2022.
- [3] Falorca, Furtado, et al., New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones, Open Engineering 11.1, 2021.

- [4] Jacobo D., Toledo G., et al., Evaluation of drones for inspection and control in industry 4.0, Technological and Industrial Applications Associated with Intelligent Logistics, 579-595, 2021.
- [5] F. Giacobbe, A. Sili, F. Milazzo, Analisi su componenti in quota. Valutazioni, opportunità e caratteristiche dei droni, Proceedings of National Conference on Non-Destructive Testing, Diagnostic, Monitoring, 25/27 October 2017, Pero (MI), Italy.
- [6] F. Giacobbe, E. Biancuzzo, Inspection of Components with the Support of the Drones, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), ISSN 2395-0072, vol. 05, issue 12, december 2018.
- [7] MIL-STD-150A, Military standard: photographic lenses, 1959.
- [8] Shihavuddin A., et al., Wind turbine surface damage detection by deep learning aided drone inspection analysis, Energies 12.4, 2019.
- [9] F. Giacobbe, M. Platania, M. Giuffrida, D. Grillo, R. Di Rosa, C. Mennuti, A. Corso, M. Sebbio, Ispezione ed esame visivo delle attrezzature di sollevamento con l'uso di Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), atti Giornate Nazionali sulla Corrosione, ISBN 978-88-98990-20-7, 2019.
- [10] Yasuda Y. D., Cappabianco F. A., et al., Aircraft visual inspection: A systematic literature review. Computers in Industry, 141, 2022.
- [11] Hallermann N., Morgenthal G., Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicles (UAV), In proceeding of 7th IABMAS, International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (pp. 661-667), July 2014.

Procedure for the examination of structures developed at height using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Visual examination is an inspection method, codified as nondestructive testing (NDT), which allows the assessment of the possible state of surface degradation of equipment and facilities to be carried out. In cases of structures, characterized by height development, the need therefore arises to use scaffolding or liftable aerial structures, in order to safely access the elements being inspected. Such solutions require significant costs and technical time for installation. The technological development of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as drones, allows for relevant results to date. Indeed, time and costs are optimized without affecting the quality level of the inspection. The survey makes it possible to effectively and quickly manage a preliminary analysis, identifying the surfaces and details that need subsequent punctual and specific further inspections. UAVs in order to carry out these activities must be equipped with special accessories that allow the acquisition and recording of high-resolution images. The visual examination therefore results in an "assisted" mode as a result of the use of cameras operating in the visible and/or infrared band. This new inspection method conducted with HD recording devices offers, in cases of elevation surveys, an examination of surfaces with a satisfactory level of detail resolution. It turns out to be relatively easy to detect and assess degradation conditions (e.g., the state of efficiency of the protective coating, of the possible presence and location of generalized corrosion processes or failures/detachments/losses in the couplings, etc.). Taking into account the aforementioned important potentialities, there emerges the need to define and fill a methodological gap with the definition of a procedure with guideline value indicating the way of conducting inspection activities. The purpose of this document is to propose a good operational practice for analyzing in a preventive form the risks for the purposes of flight-related safety according to the different scenarios subject to intervention. The standardization of the way visual examination is conducted brings favorable advantages in terms of uniformity, comparison and robustness of results by offering practitioners and principals a reference guideline. The paper in particular examines the stages of the prior study of the flight plan, the characteristics and choice of accessories to be used as well as risk assessments related to inspection activities. Procedure for conducting the examination of structures developed at height using Unmanned Aerial Vehicles.

KEYWORDS: VISUAL INSPECTION, UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS), DRONE, SURFACE INSPECTION, UNMANNED AERIAL AIRCRAFT, CORROSION, NONDESTRUCTIVE TESTING (NDT), WORK EQUIPMENT, REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM, PAINT DEGRADATION

[TORNA ALL'INDICE >](#)